



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL TFC: Disseny d'un conjunt d'activitats pràctiques dirigides per l'assignatura d' Infraestructures del Transport Aeri

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialitat Aeronavegació

AUTOR: Marc Valls i Juncosa

DIRECTOR: Xavier Prats i Menéndez

DATA: 26 de Juliol de 2011

Títol: Disseny d'un conjunt d'activitats pràctiques dirigides per l'assignatura d'Infraestructures del Transport Aeri

Autor: Marc Valls i Juncosa

Director: Xavier Prats i Menéndez

Data: 26 de Juliol de 2011

Resum

Aquest Projecte té com a objectius crear una sèrie d'exercicis i activitats per a l'assignatura "Infraestructures del Transport Aeri", que apareix amb els nous plans d'estudis de Grau en Enginyeria d'Aeronavegació i Grau en Enginyeria d'Aeroports.

D'una banda tenim els exercicis més teòrics: un qüestionari sobre un llibre que tracta el tema de la gestió de l'espai aeri, diversos casos de vols per fer-ne el pla de vol corresponent i dos anàlisis de cartes aeronàutiques en forma de qüestionari. Apart dels exercicis anteriors, hem dissenyat una pràctica que és una simulació en la qual els alumnes poden fer de controladors aeris. Degut a la complexitat de la pràctica en sí, el gruix del Projecte se centra en la preparació d'aquesta pràctica.

Per crear aquesta pràctica hem utilitzat dos programes d'Eurocontrol, Skyview 2 i eDEP, per tal de poder plasmar un escenari de simulació de control aeri que representa l'espai aeri de Barcelona. Skyview 2 ens ha permès obtenir dades de l'espai aeri europeu (radioajudes, waypoints, sectoritzacions, aeroports...), mentre que eDEP es el motor de simulació que hem fet servir, configurant-lo adientment.

En la pràctica es consideren posicions de control en ruta, en àrea terminal i d'aproximació. Es consideren també, dues posicions de controladors: el tàctic i el planificador. En total resulten ser 22 llocs de controlador.

Degut a la gran complexitat de la sectorització real de l'espai aeri, aquest Projecte en proposa una simplificació per tal que la pràctica sigui adient perquè els controladors siguin els alumnes, en un laboratori de l'Escola. Així doncs, es proposa un escenari simplificat, on hi ha tres sectors de ruta, dos sectors per cobrir el TMA de Palma de Mallorca, dos més pel TMA de Barcelona i un sector pel TMA de València. A més, també hi ha definits sis sectors d'aproximació (Girona, Reus, Barcelona, Palma de Mallorca, Menorca i Eivissa).

Per altra banda, s'ha utilitzat un fitxer trànsit europeu del que ja en disposava l'Escola per tenir una base per introduir el trànsit d'aeronaus al nostre escenari de simulació.

Title: Design a set of practical activities focused on the subject of Air Transport Infrastructures

Author: Marc Valls i Juncosa

Director: Xavier Prats i Menéndez

Date: 20th of July 2011

Overview

This Project aims to create a series of exercises and activities for the course "Air Transport Infrastructures", which appears with the new curricula for Bachelor of Engineering Degree in Air Navigation and Engineering Degree in Airports.

On the one hand we have the theoretical exercises, including a questionnaire on a book that addresses the management of airspace, several flight situations to fill in the flight plan form, and an analysis of aeronautical charts as questionnaire. On the other hand, apart from the previous exercises, we have designed a practice that is a simulation in which students perform as air controllers. Due to the complexity of the practice itself, the bulk of the project focuses on the preparation of this practice.

To create the air control practice we have used two Eurocontrol programs, Skyview 2 and eDEP, in order to create a simulation scenario that represents air traffic control airspace in Barcelona. Skyview 2 has allowed us to obtain data from European airspace (navigation aids, waypoints, sectoritzacions, airports...), while eDEP is the simulation engine that we used, configuring it properly.

In this practice, there are different control positions, such as en route, terminal maneuvering area and approach. We also considered two different roles: tactical controller and planner controller. A total of 22 control sites are set.

Due to the complexity of real sectorization of the airspace, this Project proposes to simplify it because the controllers are students in a school laboratory, not professionals. Thus, we propose a simplified scenario where there are three en route sectors, two sectors to cover the Palma de Mallorca TMA, two more by the Barcelona TMA and one for the Valencia TMA. Moreover, there are six sectors defined as approach (Girona, Reus, Barcelona, Palma de Mallorca, Menorca and Ibiza).

In addition, we used a file that the School already had about European air traffic to have a base to enter the air traffic in our simulation scenario.

A tota la meva família

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1. CONCEPTES PREVIS.....	3
1.1.- Comunicació, navegació i vigilància	3
1.1.1.- Comunicació	3
1.1.2.- Navegació	4
1.1.3.- Vigilància.....	5
1.2.- Espai aeri i procediments de vol.....	5
1.2.1.- Organització de l'espai aeri.....	5
1.2.2.- Procediments de vol.....	10
1.2.3.- Pla de vol	12
1.3.- Serveis de navegació aèria	12
1.3.1.- Serveis d'informació aeronàutica	12
1.3.2.- Serveis de gestió del trànsit aeri	14
CAPÍTOL 2. CONTEXT I OBJECTIUS DEL PROJECTE	19
2.1.- Espai Europeu d'Educació Superior	19
2.2.- Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels	21
2.2.1.- Pla d'estudis del Grau en Enginyeria d'Aeronavegació.....	22
2.3.- Informàtica 2.....	22
2.4.- Infraestructures del Transport Aeri	24
2.5.- Objectius del Projecte.....	25
CAPÍTOL 3. PROGRAMARI UTILITZAT	27
3.1.- Skyview 2	27
3.1.1.- Estructura per capes	27
3.1.2.- Utilització a nivell d'usuari i altres possibilitats a part de veure capes	29
3.2.- eDEP	31
3.2.3.- Configuració dels fitxers d'eDEP	32
CAPÍTOL 4. EXERCICIS I PRÀCTIQUES PROPOSATS	41
4.1.- Exercicis teòrics.....	41
4.2.- Pràctica ATC	42
4.2.1.- Creació de l'espai aeri de l'escenari.....	43

4.2.2.- Creació del trànsit aeri de l'escenari	53
CONCLUSIONS	63
REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	65
ANNEX A. TEMARI D'INFORMÀTICA 2 I D'INFRAESTRUCTURES DEL TRANSPORT AERI.....	67
A.1.- Temari de l'assignatura d' "Informàtica 2"	67
A.2.- Temari de l'assignatura d' "Infraestructures del Transport Aeri"	68
ANNEX B. ARQUITECTURES DE SKYVIEW 2 I eDEP	70
B.1.- Arquitectura de Skyview 2.....	70
B.2.- eDEP.....	71
B.2.1.- Arquitectura eDEP i orientació a esdeveniments. Patró observador	71
B.2.2.- Mòduls d'eDEP	72
ANNEX C. ENUNCIATS I RESOLUCIÓ DELS EXERCICIS TEÒRICS	73
ANNEX D. IL·LUSTRACIÓ DE LA SECTORITZACIÓ DEL NOSTRE ESCENARI.....	74

INTRODUCCIÓ

L'any 1999 trenta Estats van signar la Declaració de Bolonya, que proposa la creació d'un espai comú per l'ensenyament universitari a nivell europeu. Aquest espai es coneix com a EEES (Espai d'Educació Europeu Superior) i es crea amb la intenció de que tots els estudis europeus universitaris tinguin un mateix fil conductor, amb una base en comú, per facilitar l'intercanvi i la mobilitat a nivell europeu, entre d'altres coses [1].

Això suposa uns grans canvis a nivell universitari en molts dels Estats signants, entre ells l'Estat espanyol, que han hagut d'adaptar els seus plans d'estudis anteriors a la nova forma de l'EEES.

L'Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels (EETAC) no és una excepció, i ha canviat la oferta dels seus estudis; desapareixen les diferències entre 1r cicle i 2n cicle (enginyeria tècnica i enginyeria superior, respectivament) en substitució dels Graus i Màsters, que és el nou format de les carreres universitàries.

A l'EETAC, en la branca d'aeronàutica, s'hi cursen dos Graus: Enginyeria en Aeroports i Enginyeria en Aeronavegació. Tots dos són una transformació del pla d'estudis anterior, cosa que fa que algunes assignatures s'assemblin força i d'altres apareixen com a novetats. Entre aquestes noves assignatures hi trobem "Infraestructures del Transport Aeri", una assignatura que treballa aspectes com el concepte de Comunicacions, Navegació i Vigilància aplicat a l'aeronàutica; l'estructura i els elements que formen l'espai aeri; el disseny i comprensió de procediments de vol; la interpretació de cartes aeronàutiques o la organització i estructura dels serveis de gestió del trànsit aeri.

Aquesta nova assignatura, com a cosa innovadora, inclou una pràctica en la que els alumnes fan de controladors aeris, on són responsables de la FIR/UIR¹ de Barcelona; tot utilitzant el programa eDEP, un simulador de gestió del trànsit aeri desenvolupat per Eurocontrol [2].

Després d'analitzar el contingut i els objectius de l'assignatura, el present Projecte pretén elaborar una sèrie de pràctiques i exercicis per anar desenvolupant al llarg del curs, enfocats a complementar la part més teòrica de l'assignatura d' "Infraestructures del Transport Aeri". És d'especial rellevància la creació de l'escenari on es desenvoluparan les pràctiques de control aeri; aquesta tasca representa gran part dels esforços dedicats a aquest Projecte.

El Projecte s'estructura de la següent manera: el Capítol 1 conté un seguit d'explicacions de conceptes previs que agilitzen la comprensió de la resta del Projecte; el Capítol 2 explica el context de l'assignatura d' "Infraestructures del

¹ FIR: *Flight Information Region* o espai aeri inferior
UIR: *Upper Information Region* o espai aeri superior

Transport Aeri” i marca els objectius del Projecte; en el Capítol 3 hi trobem la descripció dels dos programes utilitzats en aquest Projecte; en el Capítol 4 hi ha la descripció dels exercicis i activitats pràctiques proposades en el Projecte, juntament amb els seus objectius; i, per finalitzar, un apartat de conclusions del Projecte.

CAPÍTOL 1. CONCEPTES PREVIS

En aquest capítol fem una introducció o repàs als conceptes més bàsics de la circulació aèria que són fonamentals per entendre i seguir el present Projecte. Per redactar aquest capítol hem utilitzat com a bibliografia bàsica de referència el llibre sobre gestió del trànsit aeri editat per Andrew Cook [2], així com la publicació de la Fundació Aena sobre navegació aèria i aeroports [3]. Finalment, també s'han consultat apunts de les assignatures de l'EETAC, com Navegació Aèria, Cartografia i Cosmografia [4] i Gestió de l'Espai Aeri [5].

1.1.- Comunicació, navegació i vigilància

Quan parlem de comunicació, navegació i vigilància (CNS, *Communication, Navigation and Surveillance*) en aeronavegació, ens referim a un concepte fonamental en la gestió del trànsit aeri, ja que ha permès que es puguin cobrir gran part de les necessitats del fort creixement del trànsit aeri en els darrers anys, adaptant els nous avenços a la navegació aèria.

1.1.1.- Comunicació

Les comunicacions aeronàutiques tenen com a objectiu la transmissió d'informació, entre dos actors relacionats amb la navegació aèria, la qual no està publicada als documents aeronàutics. Aquesta comunicació es pot establir de tres formes diferents: terra – terra (T/T), terra – aire (T/A) o aire – aire (A/A).

Una segona manera de classificar les comunicacions aeronàutiques és segons el format del missatge; hi ha les comunicacions de veu i el que es coneix com a comunicació de dades. Les comunicacions de veu fan referència a les converses en temps real entre dues persones involucrades en la navegació aèria, ja sigui entre controladors, entre pilot i controlador, etc. Les comunicacions de dades són aquelles en què el missatge va codificat digitalment i la informació arriba al receptor en forma de text. Aquest sistema, quan es tracta de comunicació entre pilot i controlador, es coneix com a CPDLC (de l'anglès *Controller – Pilot Data Link Communication*). [6]

En una tercera classificació, les comunicacions es poden dividir en funció de la situació física dels elements emissors i receptors. El servei fix aeronàutic comprèn tots els elements fixos que intervenen en les comunicacions aeronàutiques, és a dir totes les comunicacions en que no intervenen avions. Aquestes comunicacions es fan utilitzant unes xarxes especialitzades. Les dues més importants són la AFTN (de l'anglès *Aeronautical Fixed Telecommunication Network*) i la SITA (del francès *Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques*). També es pot establir comunicació per ràdio entre elements fixos.

El servei mòbil aeronàutic inclou totes les comunicacions que es fan tenint un avió com a emissor o receptor. La situació més comuna per aquest cas és la comunicació entre pilot i controlador. És de sentit comú deduir que es tracten de comunicacions sense fils; es fan per ones de ràdio de freqüències HF (2,8 a 22 MHz) o VHF (117,975 a 136 MHz per aviació civil i 136 a 143 MHz per militar) amb modulació AM. Les freqüències HF només s'utilitzen en llargues distàncies on les VHF no tenen un rendiment tan bo. La separació entre els canals de ràdio és de 25 kHz, però a Europa, entre d'altres espais aeris, s'està canviant a 8,33 kHz des de 1999. [7]

També hi ha altres sistemes T/A com la comunicació per transponder o el SelCal (de l'anglès *Selective Call*).

1.1.2.- Navegació

La navegació es pot definir com el conjunt de tècniques i procediments utilitzats per anar d'un origen a un destí coneguts seguint una trajectòria també coneguda. El més important de la navegació és que permet saber la posició d'un mateix en un instant de temps determinat.

Hi ha diversos tipus de navegació com ara la navegació visual (el pilot agafa referències visuals durant el vol per determinar la seva posició), la navegació a estima o *dead reckoning* en anglès (s'integra la funció velocitat – temps per trobar la posició actual), la navegació autònoma (utilitza sistemes de navegació inercials), la navegació basada en radioajudes o la navegació per satèl·lit.

La navegació basada en radioajudes és de les més comunes en l'aviació civil. Aquestes radioajudes poden ser de diferents tipus, segons la seva funcionalitat; les més típiques són el VOR (de l'anglès *VHF Omnidirectional Range*), el DME (de l'anglès *Distance Measuring Equipment*), el NDB (de l'anglès *Non-Directional Beacon*) i el ILS (de l'anglès *Instrument Landing System*). Cal notar que molt sovint es col·loquen al mateix indret un VOR i un DME, cosa que facilita el càlcul de la posició de l'aeronau mitjançant la intersecció d'un radial VOR amb un arc DME. Per més informació sobre el funcionament de les radioajudes, el lector es pot referir a la referència de navegació aèria [4].

Un sistema de navegació que deriva d'aquest anterior, és la navegació d'àrea (RNAV) que utilitza unes calculadores de a bord de l'aeronau per determinar la posició d'aquesta respecte a les radioajudes. Això fa que es puguin definir rutes amb molta més flexibilitat, ja que no cal que les aeronaus vagin sobrevolant radioajudes una darrera l'altra.

La navegació per satèl·lit (GNSS, de l'anglès *Global Navigation Satellite System*) és conseqüència dels grans avenços en la tecnologia espacial dels últims anys. Es tracta de conèixer la posició triangulant amb els satèl·lits que hi ha en òrbita al voltant de la terra. Els tres sistemes de navegació per satèl·lit

més coneguts i desenvolupats són el GPS d'Estats Units, el GLONASS rus i el sistema de la Unió Europea anomenat Galileo.

1.1.3.- Vigilància

La vigilància és l'analogia de la navegació però des d'un punt extern; es tracta de saber on estan les altres aeronaus.

El radar primari (PSR), o també conegut com a radar passiu, és el tipus de radar més primitiu, que emet un senyal electromagnètic que arriba a l'objectiu, rebota i torna a al seu origen. Amb aquest sistema comparant els temps que triguen els polsos en retornar, es pot determinar la distància entre el radar i l'objecte, així com la seva velocitat. S'utilitza en els entorns de l'aeroport.

Avui en dia hi ha un tipus de radar més evolucionat: el radar secundari (SSR). El radar secundari emet una sèrie de polsos codificats perquè el transponder de l'avió els rebi i només contesti si aquell senyal anava dirigit a ell. El radar secundari aporta més informació que el primari, ja que a més l'aeronau pot enviar informació com la velocitat que porta, l'altitud a la que es troba o el codi del transponder, entre d'altres.

Un altre mètode de vigilància és l'ADS (de l'anglès *Automatic Dependant Surveillance*). Aquest sistema treu dades dels components avionics i els va enviant tant a les estacions de terra com als altres avions del seu voltant, així es pot dir que tothom sap les intencions de tothom.

1.2.- Espai aeri i procediments de vol

1.2.1.- Organització de l'espai aeri

Degut al gran creixement del trànsit aeri en els últims anys, ha calgut organitzar i establir unes bases per a l'ús de l'espai aeri. A continuació es defineixen i s'expliquen alguns conceptes que cal saber per comprendre com aquest espai aeri està estructurat.

1.2.1.1.- Regles de vol

Quan es decideix que es farà un vol qualsevol, de les primeres coses que cal distingir és quines regles de vol se seguiran; o bé regles visuals o bé regles instrumentals.

Les regles de vol visuals, conegudes per les inicials VFR de l'anglès *Visual Flight Rules*, significa que el pilot és el responsable de mantenir el contacte

visual amb els altres usuaris de l'espai aeri i és l'encarregat de mantenir referències visuals amb el relleu del terra per seguir la seva ruta satisfactòriament. En VFR, el pilot està condicionat a volar sota uns mínims meteorològics, el més habitual dels quals és el criteri de mínima visibilitat, en què es mesura la distància a la que arriba el camp visual d'una persona en aquell moment.

D'altra banda, hi ha les regles de vol instrumentals, que s'escriuen també com a IFR, de l'anglès *Instrument Flight Rules*. En el cas d'emprendre un vol sota IFR, les condicions meteorològiques no són cap impediment pel pilot; no hi ha criteris de mínima visibilitat. La navegació es duu a terme utilitzant els instruments de terra (coneguts com a radioajudes) i les indicacions dels controladors del trànsit aeri que controlen l'aeronau mitjançant radars. D'aquesta manera es pot conèixer en tot moment la posició de l'aeronau en l'espai aeri.

Escollir les regles de vol que se seguiran no és una decisió lliure de fer, perquè així com tots els avions poden volar, de manera hipotètica, seguint VFR, no tots estan equipats per fer-ho seguint IFR. De totes formes, el més típic en l'aviació comercial és l'ús de IFR, ja que garanteix predictibilitat i eficiència, a part de deixar de dependre de les condicions meteorològiques. Només l'aviació general és qui fa servir VFR amb més normalitat.

1.2.1.2.- Classes d'espai aeri

L'espai aeri està classificat per la ICAO [5] en 7 apartats segons els serveis que s'hi ofereixen. Estan ordenats de la A a la G i les característiques més rellevants de cada classe d'espai aeri són les següents:

- Classe A: espai controlat on només està permès volar en IFR. Es subministra servei de control de trànsit aeri i separació entre aeronaus per a tots els vols.
- Classe B: espai controlat on està permès tant IFR com VFR. Es subministra servei de control de trànsit aeri i separació entre aeronaus per a tots els vols.
- Classe C: espai controlat on està permès tant IFR com VFR. Es subministra servei de control de trànsit aeri a totes les aeronaus. Es proporciona informació de separació entre IFR, i IFR amb VFR. En el cas de VFR amb VFR només es subministra informació de trànsit.
- Classe D: espai controlat on està permès tant IFR com VFR. Es subministra servei de control de trànsit aeri a totes les aeronaus. Es proporciona informació de separació només entre vols IFR. Entre IFR i VFR o entre VFR i VFR només es subministra informació de trànsit.

- Classe E: espai controlat on està permès tant IFR com VFR. Es subministra servei de control de trànsit aeri exclusivament als vols IFR. També es proporciona informació de separació entre IFR i IFR. Tots els vols reben informació de trànsit sempre que es pugui.
- Classe F: espai no controlat on està permès tant IFR com VFR. Els vols IFR reben servei d'alerta. Tots els vols poden rebre informació de trànsit aeri si ho demanen.
- Classe G: espai no controlat on està permès tant IFR com VFR. Tots els vols poden rebre informació de trànsit aeri si ho demanen.

1.2.1.3.- FIR i UIR

Històricament, quan van començar a aparèixer els serveis de trànsit aeri, es van definir el que s'anomenen regions d'informació pel vol o FIR (*Flight Information Region*). Una FIR comprèn l'espai entre el nivell de terra i un cert nivell de vol (típicament uns 24000 ft; una alçada no gaire alta des del punt de vista de l'aviació d'avui en dia), Amb l'evolució de l'aviació i l'aparició dels turboreactors i avions podien volar a nivells de vol més alts, fet que va conduir a l'aparició d'una regió per sobre de la FIR: la UIR (*Upper Information Region*)

En la majoria dels Estats, la FIR i la UIR acostumen a coincidir en planta, i el nivell de vol que separa l'una de l'altra varia segons l'Estat. Hi ha tres nivells de vol que poden separar la FIR i la UIR: FL195, FL245 i FL285. En l'Estat espanyol la separació es troba a FL245 [8]. Tot i així hi ha Estats com ara els Països Baixos que no tenen aquesta distinció entre FIR i UIR.

En països petits, sol haver-hi només una FIR/UIR que coincideix amb el territori del país. En canvi, en països més grans és habitual que hi hagi més d'una FIR/UIR que es controlen des de centres de control diferents. A més a més, certs convenis internacionals estableixen a quina o quines FIR/UIR pertanyen certs espais marítims o oceànics. Tal i com es pot veure en la Figura 1.1, on es mostren les FIRs de Barcelona, Madrid i Lisboa, la mida i la forma d'una FIR pot ser molt variable.

1.2.1.4.- Zones de control

En l'espai aeri existeixen diferents zones segons el nivell de vol o la proximitat a la que es troben d'un aeroport, entre d'altres.

La zona de control més petita definida és la zona de control o CTR, que és un volum cilíndric que té el centre de la base a l'aeròdrom en qüestió i un radi habitualment de 5 o 6 milles nàutiques, mentre que l'alçada sol ser de 300 metres per sobre de l'aeròdrom. És responsabilitat de la torre de control de l'aeròdrom. També es coneix com a sector d'aproximació.

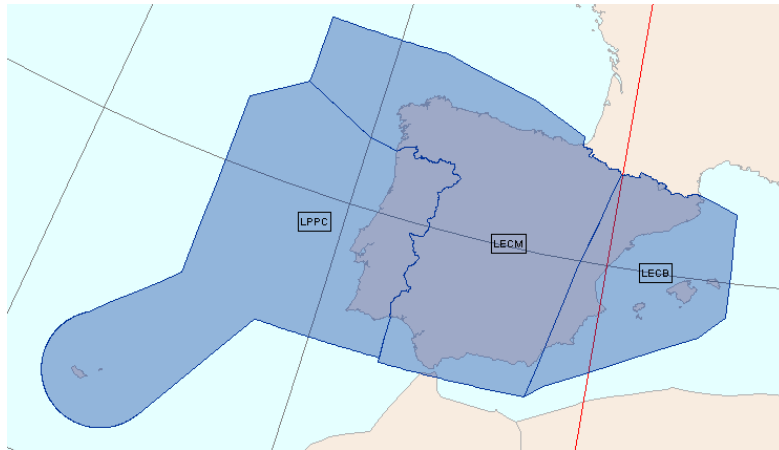


Figura 1.1: FIRs que cobreixen la Península Ibèrica (Lisboa, Madrid i Barcelona). Font: Skyview 2.

Seguint l'ordre de mides, hi ha un tipus de zona d'espai aeri que s'anomena TMA, de l'anglès *Terminal Maneuvering Area*. El TMA s'encarrega de gestionar els avions que surten d'un aeroport i els que arriben; és la connexió entre els CTR i els sectors de ruta. Els límits verticals del TMA solen anar dels 300 metres per sobre del nivell de terra fins al límit superior de la FIR.

Un mateix TMA pot tenir més d'un sol aeroport associat, com és el cas del TMA de Barcelona, que a dins hi ha l'aeroport de Barcelona - El Prat, el de Girona, el de Reus, el de Lleida i el de Sabadell. (Veure Figura 1.2)

Per últim queda l'espai aeri que es diu de ruta; aquest és el que queda fora dels TMAs. En la regió de ruta les aeronaus que s'hi troben estan en fase creuer per arribar a la seva destinació. Trobem regió de ruta tant a la FIR com a la UIR; de fet, la UIR és tota de ruta.

1.2.1.5.- Sectors

Un sector es defineix com la porció d'espai aeri més petita sota una unitat de control; típicament una parella de controladors, com veurem més endavant. Els sectors serveixen per dividir una FIR o UIR, un TMA o CTR. D'aquesta manera s'amplia el número de controladors en aquella zona i per tant la càrrega de treball de cada controlador disminueix i la capacitat de trànsit aeri augmenta. Tot i això, el fet d'augmentar el nombre de sectors fa que augmentin també les tasques de coordinació entre sectors. Per tant, el nombre i disposició dels sectors és quelcom complex i subjecte d'estudi continu per l'organització encarregada de prestar els serveis de circulació aèria.

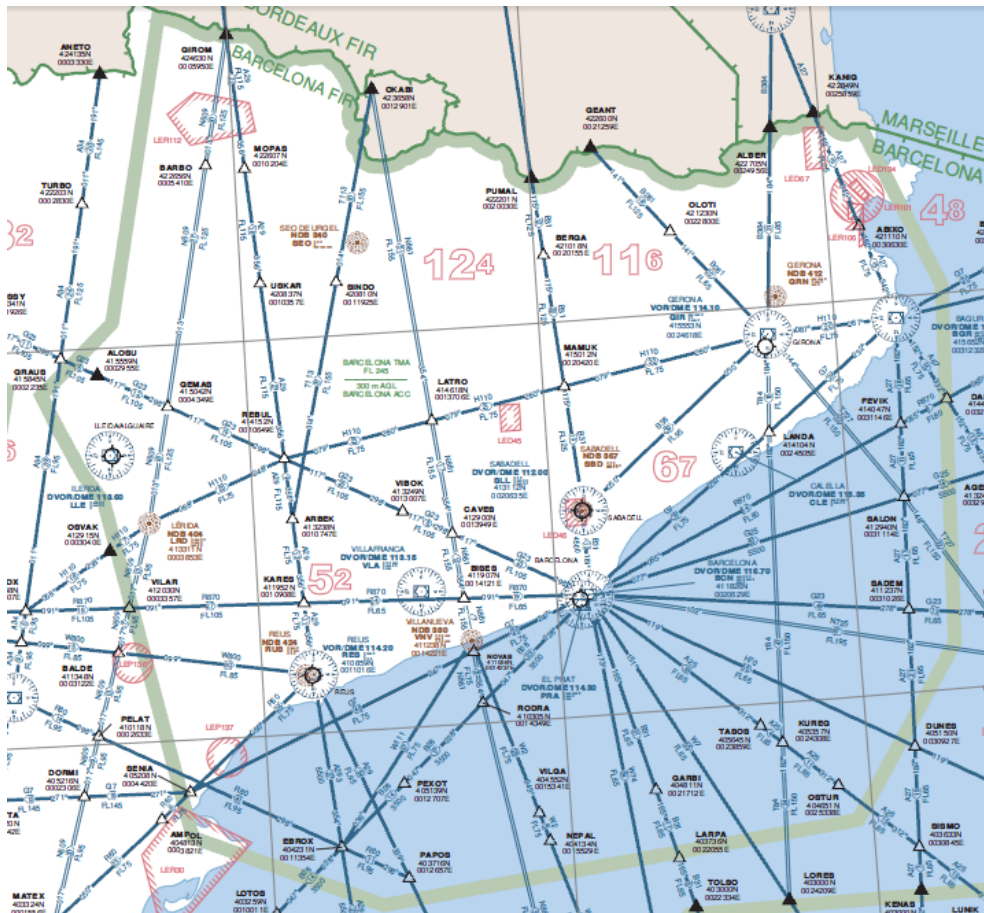


Figura 1.2: TMA de Barcelona, delimitat per la franja verda gruixuda. Font: AIP Espanya

A més a més, la sectorització d'una regió d'espai aeri és flexible de manera que es pugui anar adaptant a les condicions del trànsit o meteorològiques. Per exemple, la sectorització que hi ha a primera hora del matí quan hi ha molt de trànsit pot ser completament diferent a la sectorització que s'utilitza durant la nit, on típicament dos o més sectors es fusionen en un de sol deguda a la baixa demanda d'espai aeri.

1.2.1.6.- Zones d'ús irregular

Aquestes zones són porcions de l'espai aeri en les que s'hi pot volar amb segons quin permís o directament no es pot.

Hi ha zones d'ús irregular de bastants tipus, però les més conegudes són les zones prohibides, restringides i perilloses.

- Zones prohibides (P): són regions de l'espai aeri de dimensions definides (tant en planta com en alçada) on està prohibit volar-hi. Només ho poden fer certes aeronaus de caràcter militar amb el permís del Ministeri de Defensa. Són zones relacionades amb la seguretat nacional.

- Zones restringides (R): són regions de l'espai aeri de dimensions definides (tant en planta com en alçada) on la operació de les aeronaus està sotmesa a certes restriccions. Aquestes poden ser per protecció a l'entorn natural, operacions militars, etc. Si s'obté el permís dels serveis de control de trànsit aeri s'hi pot accedir sense problema, però sempre s'haurà de demanar aquest permís.
- Zones perilloses (D): són regions de l'espai aeri de dimensions definides (tant en planta com en alçada) on pot ser que s'hi desenvolupi alguna activitat que posi en perill la circulació aèria, com ara paracaigudisme, vols acrobàtics, etc. S'hi pot volar però sempre cal saber si en aquell moment s'està desenvolupant una d'aquestes activitats que es consideren perilloses.

1.2.2.- Procediments de vol

Un procediment de vol és un pla d'operacions que una aeronau ha de seguir en les proximitats d'un aeròdrom, ja sigui per aterrar o enlairar-se.

1.2.2.1.- SID

Una SID (de l'anglès *Standard Instrument Departure*) és un procediment de vol publicat i estandarditzat que segueix una aeronau que vola seguint IFR just després de l'enlairament. Aquest procediment condueix a l'aeronau per uns punts coneguts fins a sortir del TMA de l'aeroport associat, i així començar la fase de ruta per una aerovia.

No tots els aeroports tenen SIDs definides, però cal utilitzar-les en els aeroports i TMAs on la densitat de trànsit és elevada. D'aquesta manera, es tenen les sortides ordenades i la gestió del trànsit es més eficient. En els aeroports més petits que no hi ha SIDs definides, l'avió s'enlaira i posa rumb directe en funció de la ruta que té prevista. Es parla llavors de SIDs omnidireccionals.

1.2.2.2.- STAR

Una STAR (de l'anglès *Standard Terminal Arrival Route*) és un procediment de vol publicat i estandarditzat que segueix una aeronau que vola seguint IFR i que arriba de la fase de creuer i vol aterrar a un aeroport determinat. Una STAR comença en l'últim punt de la fase de ruta i acaba en un punt que es coneix com a IAF (de l'anglès *Initial Approach Fix*), on comença l'aproximació.

Tal i com passa amb les SIDs, una STAR tampoc és obligatòria a tots els aeroports, i les trobem en aeroports i TMAs que tenen un trànsit més dens. En el cas de que no hi hagi STAR, l'avió arriba directament a un punt proper de

l'aeroport (habitualment una radioajuda) on a partir d'allà comença l'aproximació (arribada omnidireccional).

1.2.2.3.- Aproximació

Una aproximació és un procediment de vol publicat que comença quan acaba la STAR i acaba quan l'avió toca terra a l'aeroport de destí. Una aproximació està formada per un seguit de punts significatius que determinen les altituds mínimes de l'aeronau en l'aproximació. Aquests són: IAF, IF (*Intermediate Fix*), FAF (*Final Approach Fix*) i MAP o MAPt (*Missed Approach Point*) per a VFR o alçada de decisió (*decision altitude*) per a IFR. [9].

Les aproximacions són obligatòries en els vols IFR, ja que ajuden a fer l'aproximació de l'aeronau cap a la capçalera de la pista, sobretot en cas de condicions meteorològiques adverses.

Normalment, a cada IAF hi ha definit un circuit d'espera. Aquests circuits estan dissenyats pels avions que s'han d'esperar abans d'obtenir el permís del control aeri per iniciar l'aproximació.

Es poden distingir dos tipus d'aproximacions, en funció de si ofereixen guiatge vertical o no.. Les aproximacions de precisió són aquelles en què la radioajuda és un ILS (*Instrument Landing System*), MLS (*Microwave Landing System*) o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) en algun cas. Aquestes ajudes de navegació proporcionen guiatge vertical al pilot.

Les aproximacions de no precisió són aquelles que es fan utilitzant una radioajuda que hi ha propera a l'aeroport, que acostuma a ser un VOR (*VHF Omnidirectional Range*) o un NDB (*Non Directional Beacon*). A més, poden anar acompanyades un DME (*Distance Measuring Equipment*) per complementar el guiatge. Aquestes radioajudes no ofereixen guiatge vertical.

1.2.2.4.- Cartes aeronàutiques

Una carta aeronàutica és un document format per un mapa i informació sobre aquest, que il·lustra els procediments que han de seguir les aeronaus, facilita la situació geogràfica de les radioajudes i es faciliten dades imprescindibles per als pilots [10].

Hi ha diferents tipus de cartes, ja que poden anar dirigides a diferents fases del vol. Les més importants són: cartes d'àrea (inclouen les cartes de ruta, les de SID i les de STAR), cartes d'aproximació (de precisió i de no precisió) i cartes d'aeròdrom (poden ser d'informació general o de com fer el rodatge).

1.2.3.- Pla de vol

Un pla de vol és un document normalitzat mundialment que ha d'omplir el pilot explicant les seves intencions de vol a l'Autoritat d'Aviació Civil del seu Estat, abans d'efectuar aquest vol [11].

En el pla de vol s'inclouen tres tipus principals d'informació:

- Dades referents a l'aeronau: identificació, regles de vol, tipus d'operació, categoria de l'estela, tipus d'aeronau, equips de l'aeronau.
- Dades de l'operació a realitzar: aeroport d'origen, hora estimada de retirada de falques, ruta a seguir, nivell de vol i velocitat de creuer, temps estimat del vol, aeroport de destinació, aeroports alternatius.
- Informació suplementària referent a equips d'emergència: autonomia de l'aeronau, nombre de persones a bord, tipus d'equips dels que disposa l'aeronau i la quantitat d'aquests.

Un pla de vol pot ser de dos tipus, o bé és un pla de vol senzill (conegut simplement com a pla de vol) o bé és un pla de vol repetitiu.

El pla de vol és el document que es presenta per efectuar un sol i únic vol, i no serveix per cap més vol. Per contra, un pla de vol és un document té validesa en un període de temps (especificat en el propi pla de vol repetitiu) i la forma varia una mica del pla de vol normal, tot i que el contingut ha de ser el mateix. El pla de vol repetitiu l'utilitzen pràcticament en la seva totalitat les companyies aèries, ja que planifiquen els vols per operar-los durant grans períodes de temps

1.3.- Serveis de navegació aèria

Aquest terme engloba tots els serveis que s'han de proveir per a una correcta navegació aèria. Els serveis de navegació aèria (ANS, d' *Air Navigation Services*) inclouen les infraestructures i procediments per les comunicacions, navegació i vigilància (explicat anteriorment), els serveis d'informació aeronàutica, serveis de gestió del trànsit aeri, el servei meteorològic, i finalment cerca i rescat.

1.3.1.- Serveis d'informació aeronàutica

Els serveis d'informació aeronàutica (AIS, *Aeronautical Information Services*) són aquells que s'encarreguen d'assegurar la distribució d'informació

necessària per garantir seguretat, regularitat i eficiència en la navegació aèria internacional. Està compost per les publicacions d'informació aeronàutica, els avisos als aviadors i els circulars d'informació aeronàutica.

1.3.1.1.- Publicacions d'informació aeronàutica

L'AIP (Aeronautical Information Publication) són un conjunt de documents de procediments, descripcions, cartes (de navegació o procediments) i altra informació important i rellevant per la navegació aèria que presenta l'autoritat competent de cada Estat en un format estandarditzat. L'AIP es pot dividir en tres parts: general (GEN), de ruta (ENR) o d'aeròdrom (AD).

Aquesta informació pot ser de caire permanent o bé que s'hagi d'anar actualitzant, per això hi ha els cicles AIRAC (de l'anglès *Aeronautical Information, Regulation and Control*) que es produeixen cada 28 dies, i serveixen per publicar variants a la AIP ja existent.

Per actualitzar l'AIP es poden fer servir esmenes, que contenen canvis i correccions editorials, així com informació que serà permanent per un temps. Aquestes esmenes es publiquen juntament amb l'AIP en les dates de publicació establertes.

D'altra banda hi ha els suplementos, que complementen o modifiquen l'AIP informant de petits canvis que són curts en el temps però prou importants com perquè siguin publicats a l'AIP.

1.3.1.2.- Avisos als aviadors (NOTAM, de l'anglès Notices to Airmen)

Els NOTAMs són avisos que es donen als pilots quan ja han presentat o volen presentar el pla de vol, per alertar-los de la situació actual. Es poden donar a terra abans de sortir o en vol, ja que pot ser que l'aeroport de destinació hagi hagut de tancar la pista per qualsevol motiu, llavors això se li comunica al pilot mitjançant un NOTAM.

1.3.1.3.- Circulars d'informació aeronàutica

Les circulars, conegudes també com a AIC, d' *Aeronautical Information Circulars* contenen informació administrativa, explicativa o d'assessorament que pot afectar a llarg termini les operacions. Aquesta informació, degut a les característiques del seu contingut, no ha d'estar inclosa en l'AIP ni ha de ser difosa en un NOTAM.

1.3.2.- Serveis de gestió del trànsit aeri

Els serveis de gestió del trànsit aeri tenen com a objectiu garantir la seguretat, l'eficàcia i l'ordre en els procediments que desenvolupen les aeronaus en totes i cadascuna de les fases del vol. Aquests serveis també són coneguts per les inicials ATM (de l'anglès *Air Traffic Management*); inclouen la gestió de l'espai aeri, la gestió del flux i la capacitat del trànsit aeri i els serveis de trànsit aeri.

1.3.2.1.- Gestió de l'espai aeri

La tasca principal de l'ASM (*Airspace Management*) és planejar, dissenyar i publicar com està gestionat l'espai aeri, definint la situació i els límits dels diferents espais aeris, aerovies, sectors, radioajudes o àrees dels voltants dels aeroports, així com els procediments de vol associats a aquests elements, sempre enfocat a garantir fluïdesa, eficiència i seguretat del trànsit aeri per així satisfer les necessitats dels usuaris.

La gestió del trànsit aeri treballa a llarg/mig termini, ja que es parteix dels estudis sobre el futur del trànsit aeri per així poder anar reconduint la situació actual cap a possibles millores que permetin adaptar l'espai aeri a la demanda del futur. Per fer aquest tipus de modificacions sempre es tenen la seguretat i la eficiència com a referència.

1.3.2.2.- Gestió del flux i la capacitat del trànsit aeri

L'objectiu del servei de gestió del flux i la capacitat del trànsit aeri, conegut per les seves inicials en anglès ATFCM (*Air Traffic Flow and Capacity Management*), és regular el flux d'aeronaus per evitar la sobrecàrrega dels sectors, optimitzant la utilització de la capacitat de l'espai aeri i garantint la seguretat en les operacions. L'ATFCM es conté tres fases ben distingides:

- Fase estratègica: inclou el període de temps fins a set dies abans del dia d'operacions. S'analitzen dades històriques de rutes i es fa una estimació de la demanda que hi haurà.
- Fase pre-tàctica: va del sisè dia abans del dia d'operacions fins al anterior del dia d'operacions (coneguts com a D-6 i D-1 respectivament). En aquesta fase s'estudien els plans de vol que hi ha pel dia d'operacions, que són la gran majoria de vols en el dia d'operacions, ja que les companyies aèries presenten els seus plans de vol per a vols regulars amb suficient antelació. A una setmana vista ja es poden preveure certes incidències com ara meteorologia, problemes en algun aeroport o demanda per sobre de la capacitat en algun punt i en algun instant concret. Aquestes incidències són les que provocaran que l'ATFCM comuniqui els retards pertinents a les companyies a la vegada que els intenta minimitzar.

- Fase tàctica: aquesta fase comença al dia d'operacions i finalitza en l'instant que l'aeronau comença el rodatge o taxi, moment en que passa a domini de l'ATS. En aquest període de temps s'acaba de definir l'instant en que comença el rodatge i es suma al temps de taxi previst, per així obtenir una idea del moment de l'enlairament i assignar un *slot*. Tot això en funció del trànsit real d'aquell dia i dels incidents que hi pugui haver.

Per complir amb els seus objectius, l'ATFCM utilitza el mètode d'assignació de *slots*. Un *slot* es defineix com a una finestra temporal en la que un avió té el permís de l'ATFM per enlairar-se; notar que no té el permís absolut. Els *slots*, que acostumen a ser de 15 minuts, es van assignant als diferents avions a l'hora a la que volien enlairar-se segons el seu pla de vol.

El sistema de *slots* permet certa flexibilitat en el sentit que si un avió s'endarrereix o no pot enlairar-se per qualsevol motiu, la companyia de l'avió en qüestió pot sol·licitar posar un altre vol en el lloc d'aquest per aprofitar el *slot*.

Aquest sistema també serveix per endarrerir els vols a terra, és a dir, si hi ha un problema de capacitat en alguna zona de l'espai aeri o en algun aeroport, les sortides dels avions que havien d'operar en aquest lloc s'han de dosificar ja que la demanda excedeix la capacitat. És llavors quan se'ls assigna un *slot* més de la seva hora teòrica d'enlairament. Tots aquests endarreriments acostumen a conduir al que es coneix com a efecte de xarxa, que significa que per culpa d'un incident en un lloc determinat, es veuen afectats molts vols encara que la seva destinació o sigui aquest lloc afectat.

Una altra estratègia de l'ATFCM és el que es coneix en anglès coma *rerouteing*, que com el seu nom indica es tracta d'aplicar variacions en les rutes dels avions per intentar que els possibles incidents afectin el mínim a tota la circulació aèria. Sense deixar de banda els *slots*, el *rerouteing* pot conduir a una nova distribució d'aquests.

1.3.2.3.- Serveis de trànsit aeri (ATS de l'anglès Air Traffic Services)

L'ATS engloba els serveis que garanteixen un ús fluid, segur i econòmic de les aeronaus en l'espai aeri així com la separació entre aquestes.

Els objectius de l'ATS són: prevenir les col·lisions entre aeronaus o entre obstacles de terra o aire ja siguin fixos o mòbils, accelerar i mantenir ordenadament el moviment del trànsit aeri, assessorar i proporcionar informació útil per al desenvolupament eficaç dels vols i per últim notificar als organismes pertinents qualsevol informació respecte a les aeronaus que poden necessitar ajuda de cerca i/o salvament.

Aquest servei consta de tres parts diferents: el control de trànsit aeri, el servei d'informació en vol i el servei d'alerta.

Control del trànsit aeri

L'ATC (*Air Traffic Control*) és el que s'encarrega de mantenir les aeronaus separades entre sí tant a terra com a l'aire. Es tracta, possiblement, de la part més coneguda per tothom, ja que es coneix vulgarment amb el terme "controladors aeris".

Els controladors aeris poden treballar en tres llocs diferents, cadascuna satisfent a una fase del vol en particular. Existeixen el servei de control d'aeròdrom, el servei de control d'aproximació i el servei de control d'àrea.

El servei de control d'aeròdrom s'ocupa de la part d'espai aeri més petita i propera a un aeroport, així com de l'àrea de maniobres d'aquest aeroport. Aquest servei es troba a la torre de control dels aeroports, ja que és la posició privilegiada per tenir un bon camp visual de l'aeroport. El control d'aeròdrom és l'encarregat de donar els permisos d'aterratge a les aeronaus quan aquestes ja estan alineades amb la pista i els permisos d'enlairament. Per realitzar aquestes tasques s'acostuma a fer a simple vista del controlador, sense tants ajuts de pantalles radar com en els altres serveis de control.

Tanmateix, és l'organisme que s'ocupa de que el rodatge de les aeronaus pels carrers de rodatge i dels estacionaments. A part d'aeronaus, tots els vehicles que corren per plataforma també són controlats per la torre.

El servei de control d'aproximació és el que s'encarrega de mantenir ordenat tant el trànsit d'arribada com el de sortida d'un aeroport. En les arribades, és l'encarregat de controlar les aeronaus que entren al TMA de destinació perquè arribin a alinear-se amb l'eix de la pista de manera ordenada, segura, eficient i mantenint les separacions que indica la normativa.

En les sortides, el control d'aeròdrom accepta l'entrada d'un avió al seu domini, per controlar-lo fins la seva sortida del TMA, quan normalment ja està establert al seu nivell de vol o li queda poc.

A més, el servei de control d'aproximació també controla tots aquells vols d'aeronaus més petites com avionetes o helicòpters que volen dins del TMA d'un aeroport determinat, encara que no hi hagin d'aterrar ni enlairar-se.

El servei de control d'àrea és el que controla una regió d'espai aeri més gran i que ocupa gran part de la superfície terrestre, així com la immensa majoria de l'espai aeri superior. Els avions que hi ha en aquesta regió acostumen a trobar-se en la fase de creuer, amb un nivell de vol i una velocitat establerts.

Aquests dos últims serveis de control, el d'aproximació i el d'àrea, treballen en centres de control que no tenen perquè estar físicament a prop d'un aeroport, ni tampoc hi ha una estricta correlació entre la situació del centre de control i la situació dels sectors sota el seu domini. Aquests llocs de treball no mantenen contacte visual amb les aeronaus, sinó que treballen amb pantalles radar.

La tasca de controlador es desenvolupa per parelles, és a dir, una parella de controladors s'encarrega d'un únic sector. Això és així en el control d'aproximació i en el d'àrea, ja que són els llocs de controlador que requereixen més concentració, eficàcia i atenció. Aquestes parelles de controladors estan formades per un controlador que fa de controlador tàctic i l'altre fa de controlador planificador.

El controlador tàctic és el que controla els avions davant dels monitors radar i és el que manté totes les converses amb els pilots. És el controlador que pren decisions en temps real i que dona les ordres que ell creu oportunes.

El controlador planificador és el que parla amb els planificadors dels sectors adjacents. Entre planificadors es comuniquen informació que té a veure amb la transferència dels avions d'un sector a un altre. Si per exemple el tàctic ha decidit fer ascendir un aeronau per qualsevol motiu, el planificador ho ha de comunicar al planificador del sector adjacent, dient que aquell avió entrarà al seu sector a un nivell de vol per sobre del que havia de ser en un principi.

El planificador també és el que estudia la situació a uns minuts vista per intentar identificar possibles conflictes i poder anticipar-se a la situació. Per últim, és el que gestiona els *strips* (tires de paper que tenen una forma normalitzada amb informació dels vols que entraran al sector en un futur immediat) que es reben.

La comunicació entre tàctic i planificador és oral ja que solen estar asseguts un al costat de l'altre.

Servei d'informació en vol

El servei d'informació en vol, com el seu nom indica, subministra informació útil per al desenvolupament segur i eficaç dels vols. Pot ser informació meteorològica, canvis en radioajudes, informació d'aeròdroms, informació de possibles situacions perilloses en vol, etc. És informació que no té les característiques per ser inclosa en un NOTAM.

També es coneix pel seu nom en anglès: *Flight Information Service* (FIS).

Servei d'alerta

El servei d'alerta es comunica amb dos actors diferents; amb els avions directament i amb les autoritats competents de cada Estat. És el servei destinat a difondre incidents o accidents tan a les aeronaus que circulen pels voltants del lloc afectat, com a les autoritats a càrrec del lloc que s'ha vist involucrat. S'encarrega de comunicar quines són les aeronaus que necessiten ajuda i/o salvament.

Cal notar que aquest servei, juntament amb els anteriors de l'ATS, només és per a aeronaus que han presentat un pla de vol i es troben en espai aeri controlat.

CAPÍTOL 2. CONTEXT I OBJECTIUS DEL PROJECTE

2.1.- Espai Europeu d'Educació Superior

L'any 1998 els Ministeris d'Educació d'Alemanya, França, Itàlia i Regne Unit varen signar una Declaració pel desenvolupament del que ara coneixem com a Espai Europeu d'Educació Superior (EEES). Això significava un primer pas en el canvi a llarg termini de la docència superior a Europa.

Més tard, a mitjans de 1999, es va celebrar una nova conferència a Bolonya que ja va ser signada per 30 Estats (incloent Estats de la Unió Europea, Estats de fora de la Unió Europea i fins i tot Estats de fora d'Europa). La Declaració de Bolonya marca les pautes del desenvolupament de l'EEES que té sis objectius ben definits [1]:

- La adopció d'un sistema senzill, esquemàtic i comparable de titulacions.
- Un sistema basat, fonamentalment, en dos cicles principals.
- L'establiment d'un sistema de crèdits estandarditzat, com són els ECTS.
- La cooperació europea per assegurar un cert nivell de qualitat.
- La promoció d'una necessària dimensió europea en l'educació enfocada al desenvolupament curricular.
- La promoció de mobilitat tant d'alumnes com de professors com de personal administratiu de les universitats i altres institucions d'ensenyament superior europees.

Aquesta Declaració de Bolonya estableix un termini fins al 2010 per la realització de l'EEES.

Posteriorment, hi ha hagut més reunions per fer un seguiment de l'evolució de la iniciativa: Praga (2001), Berlin (2003), Bergen (2005), Londres (2007) i Leuven (2009). S'han anat fent balanços dels progressos i s'han anat establint directrius de cara al futur.

Un grup d'universitats d'Europa van iniciar l'any 2000 el projecte anomenat Tuning, que intenta divulgar les idees que s'exposen en la Declaració de Bolonya. El projecte Tuning té com a objectius transmetre la idea de que les universitats no volen harmonitzar els seus programes de titulació, ni un sistema únic per tot el continent. El que cal, segons el projecte, és fixar punts de referència, convergència; des del principi, es busca protegir la rica diversitat.

En l'EEES, les competències que han d'adquirir els estudiants són un punt de referència per l'elaboració i avaluació dels plans d'estudi, tot i que no pretenen ser models rígids. La meta és introduir un llenguatge comú per descriure els objectius d'aquests plans d'estudi, permetent flexibilitat en la definició dels plans [1].

Per dur a terme la Declaració de Bolonya, o més popularment conegut com a Pla de Bolonya, s'ha acordat utilitzar un tipus de crèdit comú com a unitat de mesura en aquest nou pla d'estudis. Aquest és el crèdit ECTS (European Credit Transfer System) que es equival a 25 hores de l'estudiant dedicades a la matèria. Inclou tant les hores lectives presencials com les hores de treball a casa, estudi, pràctiques, seminaris, exàmens, etc. Aquest format redueix el nombre de les hores de classe i es pretén un augment en el temps que l'alumne dedica a la assignatura pel seu compte.

Els estudis universitaris adopten una nova forma; apareixen els graus. El grau són uns estudis de 240 ECTS que duren quatre anys docents. En el nou model, els estudis de graduat estan definits com a estudis de primer cicle. L'objectiu d'un grau és aportar una formació acadèmica general i professional que et capacita per entrar al món laboral.

Un cop s'està graduat, es pot accedir als estudis que estan definits com a estudis de segon grau: el màster o postgrau. Són estudis especialitzats per treballar tant en el món de la investigació com en el món professional. Un màster pot ser d'un any o de dos, i en funció d'això equivaldrà a 60 o 120 ECTS respectivament. Els estudis de doctorat (3 o 4 anys) ofereixen una formació avançada en tècniques de recerca.

En l'EEES es potencia l'adquisició d'habilitats vers l'adquisició de coneixements, ja que les noves titulacions estan altament enfocades a cobrir les necessitats laborals que hi ha a la societat.

Per tant, desapareix l'estructura que hi havia fins l'actualitat (en el cas espanyol), on es diferenciaven les llicenciatures, enginyeries i arquitectures (estudis de segon cicle) de les diplomatures, enginyeries tècniques i arquitectures tècniques (estudis de primer cicle).

Amb aquesta nova estructura es pretén: promoure la mobilitat d'estudiants, graduats, professors i investigadors en l'àmbit europeu, formar graduats universitaris per satisfer millor les demandes socials, i per últim, garantir la qualitat de l'ensenyament amb criteris i metodologia comparables.

Un altre dels objectius més destacats del Pla de Bolonya és la modificació en els mètodes d'aprenentatge. La idea és que caldrà anar a classe amb un treball previ fet. Es potencia, a més del mètode convencional d'escoltar i prendre apunts, el treball en grup, l'elaboració de projectes, l'estudi de casos particulars, l'aprenentatge a través de problemes, etc. Això va acompanyat d'un sistema d'avaluació continuada, on totes les tasques dels alumnes tenen repercussió en la nota.

L'EEES, com hem dit, també serveix per millorar els programes de mobilitat de la gent involucrada en l'ensenyament superior a Europa, ja siguin alumnes o professors. Els Ministeris d'educació dels respectius Estats coincideixen que l'intercanvi és quelcom positiu i enriquidor per tothom, ja que ofereix una oportunitat per aprendre una llengua nova, un estil de vida diferent, conèixer gent nova... Ara, a més, els programes de mobilitat estaran molt més extensos amb el reconeixement dels crèdits ECTS.

2.2.- Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels

L'Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels (prèviament coneguda com a Escola Politècnica Superior de Castelldefels, EPSC) és una escola d'ensenyament superior que pertany a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Ofereix estudis en diverses titulacions en el món de les Telecomunicacions i l'Aeronàutica.

En el moment de redactar aquesta memòria, a l'EETAC s'hi poden cursar carreres universitàries adaptades a l'EEES, com ara Grau en Enginyeria Telemàtica, Grau en Enginyeria en Sistemes de Telecomunicacions, Grau en Enginyeria d'Aeronavegació o Grau en Enginyeria d'Aeroports. Apart d'aquestes titulacions assenyalades, també s'hi fa el Master of Science in Telecommunication Engineering & Management (MASTEAM) i el Master in Aerospace Science and Technology (MAST) [12].

Abans de 2010, però, els estudis que impartia l'EETAC eren estudis no adaptats al format europeu de grau, els quals ara es troben en fase d'extinció. Això està afectant a les Enginyeries Tècniques, conegudes segons la nomenclatura antiga com a estudis de primer cicle.

L'Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels és una escola que sempre ha estat un pas per davant pel que fa a la metodologia docent respecte a les altres escoles no només de Catalunya, sinó d'Espanya. L'EETAC destaca per ser pionera a nivell espanyol en l'aprenentatge basat en projectes, ja sigui individual o en grup; tot utilitzant classes amb nombre reduït d'alumnes.

A diferència de la majoria de centres, aquí sempre s'ha fet un seguiment continuat de l'avaluació dels alumnes per potenciar el treball regular i constant. Aquest és un dels motius pels quals la xifra d'alumnes que aconsegueixen acabar els seus estudis de principi a fi està vora el 80% [12].

Un altre punt fort és que s'aposta per les classes pràctiques als laboratoris. La part de pràctiques pot tenir un pes força rellevant en el sistema d'avaluació d'una assignatura i és per això que a més a més l'Escola posa els seus laboratoris a disposició dels alumnes fora de les hores de classe. Totes aquestes característiques han fet que, ja des dels seus inicis, l'Escola

obtingués la Certificació de Qualitat ISO 9001:2000. A banda d'això, l'EETAC ha guanyat diversos premis com ara el premi Vicens Vives que atorga la Generalitat de Catalunya en dues ocasions, o el Premi Flyer el 2005 (quan encara es deia EPSC).

Amb l'arribada de la Declaració de Bolonya, els centres s'han vist obligats a reestructurar el sistema educatiu superior, adaptant les titulacions al format de Grau que es farà servir a partir d'ara.

Degut a les característiques en la metodologia de l'Escola que hem citat anteriorment, l'EETAC haurà de fer una adaptació però el sistema no canviarà tant com en un altre centre més convencional. Aspectes com les classes amb nombre reduït d'alumnes, aprenentatge basat en casos particulars o aprenentatge basat en projectes, ja estan integrats en la manera de funcionar de l'EETAC, cosa que fa més suau aquest canvi en la docència.

2.2.1.- Pla d'estudis del Grau en Enginyeria d'Aeronavegació

A primer curs dels estudis de Grau en Enginyeria d'Aeronavegació i en el de Grau en Enginyeria d'Aeroports s'han unit les assignatures anomenades "Informàtica 1" i "Tecnologia Aeroespacial i Transport Aeri". Aquesta unió es tradueix en que les assignatures es cursen simultàniament i una serveix de complement de l'altra.

"Informàtica 2" i "Infraestructures del Transport Aeri", que es poden qualificar com a la continuació d' "Informàtica 1" i "Tecnologia Aeroespacial i Transport Aeri", respectivament, també s'uneixen de la mateixa manera que les seves predecessores. L'objectiu d'aquesta unió és poder complementar el que es fa en una assignatura amb el que es fa en l'altra.

La Taula 2.1 mostra el pla d'estudis del Grau en Enginyeria d'Aeronavegació amb les assignatures ordenades per quadrimestres.

2.3.- Informàtica 2

En els estudis de Grau en Enginyeria d'Aeronavegació i Grau en Enginyeria d'Aeroports, es cursa l'assignatura anomenada "Informàtica 2" en el primer quadrimestre del segon any. "Informàtica 2" forma part del bloc d'assignatures de formació comuna a la branca d'aeronàutica en el pla d'estudis de Grau (tant d'Aeronavegació com d'Aeroports). Aquestes són les assignatures comunes per ambdues titulacions que serveixen per formar una base en els coneixements de l'estudiant, sense entrar en l'especialitat dels estudis encara.

"Informàtica 2" és impartida per professors del departament d'Arquitectura de Computadors de la UPC. Aquesta assignatura té assignats 4,5 crèdits ECTS.

Taula 2.1: Pla d'estudis del Grau en Enginyeria d'Aeronavegació. En verd s'indiquen les assignatures de formació bàsica, en vermell les assignatures de formació comuna a la branca d'aeronàutica, en blau les assignatures de formació específica i en color gris és per les assignatures de formació obligatòria. El color taronja engloba assignatures optatives, programes de mobilitat i extensió universitària, pràctiques en empresa i el projecte de final de Grau. Entre parèntesi hi ha el nombre de crèdits ECTS assignats a cada assignatura.

Q	Assignatures				
1A	Àlgebra i Geometria (6)	Fonaments de Física (6)	Química (6)	Càlcul (6)	Empresa (6)
1B	Ampliació de Matemàtiques (6)	Mecànica (6)	Informàtica 1 (6)	Tecnologia Aeroespacial i Transport Aeri (6)	Termodinàmica (6)
2A	Probabilitat i Estadística (6)	Mecànica de Fluids (7,5)	Informàtica 2 (4,5)	Infraestructures del Transport Aeri (7,5)	Electricitat (4,5)
2B	Ciència i Tecnologia dels Materials (6)	Gestió Aeroportuària i de l'Espai Aeri i Investigació Operativa (7,5)	Sistemes Lineals (4,5)	Estructures i Resistència de Materials (6)	Expressió Gràfica (6)
3A	Aerodinàmica i Mecànica de Vol (6)	Fonaments de Comunicacions (7,5)	Electrònica (6)	Operacions Aèries (6)	Enginyeria Aeroportuària (4,5)
3B	Control i Guiatge (4,5)	Comunicacions Aeronàutiques (6)	Radiolocalització (6)	Aviònica (7,5)	Navegació Aèria, Cartografia i Cosmografia
4A	Itinerari Optatiu I (18)	Itinerari Optatiu II (18)	Itinerari Optatiu III (18)		Pràctiques en empreses (12)
4B	Treball Final de Grau (24)				Optativa/ Mobilitat/ Extensió Univ. (6)

Els objectius de la assignatura són, entre d'altres, que l'alumne aprengui a utilitzar la programació orientada a objectes per crear les seves aplicacions, utilitzar correctament estructures de bases de dades, aprendre tècniques de gestió del sistema de memòria, fer servir i interpretar algorismes avançats i saber com funciona un computador i un supercomputador; entre d'altres.

Pel que fa als objectius fora del temari, a "Informàtica 2" es promou principalment l'autoaprenentatge, sense passar per alt el treball en equip, l'elaboració de projectes com a eina d'aprenentatge o la presentació de projectes tant a nivell oral com a nivell escrit.

Un sistema molt eficient que es fa servir per aconseguir aquests objectius és el mètode puzzle d'Aronson. Aquest sistema consisteix en formar grups de treball i dividir tot allò que cal estudiar, aprendre o assimilar en tantes parts com membres hi ha al grup. A cada membre del grup, doncs, li toca una part que ha de treballar, per després acabar ajuntant el que ha après cada membre del grup i fer el "puzzle" de coneixements adquirits (d'aquí ve el nom). Per aconseguir aquest objectiu s'assigna un tema "A" a un individu del col·lectiu. El procés és el següent: aquest membre es prepara el tema "A" per convocar una

reunió amb els experts del tema “A” dels altres grups, i així, entre experts, es debat el que s’ha après i es resolen dubtes o detalls entre companys. Un cop acaba aquesta reunió, es considera que l’alumne ja en sap prou del tema “A” com per explicar-lo i exposar-lo a la resta de companys del seu grup de treball inicial. És llavors, quan es posen en comú tots els temes que hi havia per treballar i l’alumne aprèn en base a companys. És una bona eina per fomentar el compromís, el treball, el rigor, les habilitats socials i les habilitats comunicatives [13].

El temari de l’assignatura “Informàtica 2” es pot consultar a l’Annex A.

2.4.- Infraestructures del Transport Aeri

Amb la nova forma dels estudis superiors imposada per l’EEES, apareix una assignatura anomenada “Infraestructures del Transport Aeri” (ITA), en el pla d’estudis de Grau en Enginyeria d’Aeronavegació i en el de Grau en Enginyeria d’Aeroports. “Infraestructures del Transport Aeri” forma part del bloc d’assignatures de formació bàsica en el pla d’estudis de Grau tant d’Aeronavegació com d’Aeroports. Aquestes són les assignatures comunes per ambdues titulacions que serveixen per formar una base en els coneixements de l’estudiant, sense entrar en l’especialitat dels estudis encara.

“ITA” es cursa al primer quadrimestre del segon any d’ambdues carreres, i té assignats 7,5 crèdits ECTS. L’assignatura va a càrrec del grup de professors assignats orgànicament a l’EETAC.

ITA és una assignatura que cobreix o gairebé substitueix a l’assignatura anomenada “Gestió de l’Espai Aeri” que es cursava en la titulació (a extingir) d’Enginyeria Tècnica Aeronàutica, especialització en Aeronavegació.

Els objectius de l’assignatura són [14]:

- Conèixer l'estructura i organització de l'espai aeri.
- Conèixer els organismes i regulacions que afecten a l'espai aeri.
- Analitzar dades de tràfic i poder-ne derivar mesures de capacitat i eficiència.
- Conèixer les regles de separació i procediments operacionals en aeronaus.
- Analitzar i comprendre qualsevol carta de navegació instrumental.
- Dissenyar procediments d'aterratge instrumental.

- Conèixer i comprendre com està estructurat el servei de control del trànsit aeri i com funciona.

El contingut teòric d'ITA està dividit en 3 grans blocs i es pot consultar a l'Annex A.

Pel que fa a les activitats de l'assignatura es proposen un seguit d'exercicis per complementar la teoria com ara disseny de procediments de vol, elaboració de plans de vol o anàlisi de cartes aeronàutiques, i una pràctica final d'ATC utilitzant el simulador eDEP, després d'una documentació i adaptació prèvies. La preparació d'aquesta pràctica se centra en el Capítol 4 d'aquest Projecte.

2.5.- Objectius del Projecte

Tal i com hem dit anteriorment s'han escollit aquestes dues assignatures perquè molts dels temes que es treballen a "Infraestructures del Transport Aeri", com ara la gestió del trànsit aeri, avui en dia al món laboral es treballen utilitzant eines informàtiques per a una gran diversitat de tasques. L'exemple més clar és que el projecte de programació d' "Informàtica 2" tracta amb temes de la gestió de l'espai aeri que es treballen com a conceptes a "ITA".

En aquest Projecte hem proposat una sèrie d'exercicis i activitats orientats a la part d' "ITA" per a complementar el contingut teòric que s'exposa. Tot i així, el gruix del Projecte se centra en la creació d'un escenari per posar en pràctica una simulació d'ATC utilitzant el programa eDEP d'Eurocontrol per representar la FIR de Barcelona de la forma més fidel possible, en la que els alumnes fan de controladors aeris. Aquesta pràctica està destinada a realitzar-se al final del curs, i s'intenta que tot el que s'ha fet amb anterioritat durant l'assignatura tingui una relació estreta amb aquesta pràctica; serveix per enfocar una gran majoria de les activitats del curs a un mateix objectiu.

CAPÍTOL 3. PROGRAMARI UTILITZAT

En aquest capítol s'expliquen les eines que hem utilitzat pel desenvolupament del projecte i així poder dissenyar unes pràctiques per realitzar al laboratori que intenten ser el més fidels possible a la realitat.

3.1.- Skyview 2

Skyview 2 és un programari gratuït desenvolupat en llenguatge de programació Java per Eurocontrol que serveix per visualitzar la informació de l'AIS (*Aeronautical Information Service*) dins de l'espai ECAC (*European Civil Aviation Conference*).

Que sigui un programari gratuït (la traducció en anglès és *freeware*) significa que és un programa disponible al públic que no es fa pagar per adquirir-lo. Cal notar la diferència entre això i el que es coneix com a programari obert, que és aquell que es pot distribuir, modificar, accedir al codi font, copiar, etc. Són dues definicions diferents, però una no exclou l'altre; Skyview 2 està englobat com a programari gratuït i com a programari de propietat al mateix temps.

L'arquitectura del programa Skyview 2 està detallada a l'Annex B, ja que en els objectius del Projecte no s'inclouen l'estudi detallat de l'estructura del programa. Aquest apartat explica com es fa servir a nivell d'usuari, ja que en el Projecte s'ha fet servir com a eina de suport per obtenir informació de l'espai aeri ECAC.

3.1.1.- Estructura per capes

El principi de funcionament de Skyview 2 per mostrar la informació a l'usuari és per capes. A cada capa hi ha informació sobre un tipus d'elements concrets de l'espai ECAC. El programa té 8 capes i són les següents [16]:

- Aeroports

Conté els següents atributs per cada aeroport: codi ICAO de l'Estat al que pertany l'aeroport, codi ICAO de l'aeroport, nom de l'aeroport, ciutat associada a l'aeroport, tipus d'aeroport, propietari de l'aeroport, coordenades de l'aeroport i la data de la informació.

El tipus d'aeroport és un codi de 3 lletres, on cada lletra té un significat segons la seva posició. La primera lletra serveix per definir l'aeroport segons si és internacional, nacional o ambdós. La segona lletra defineix el tipus de trànsit que opera a l'aeroport; pot ser regular, no regular, només aviació comercial, només d'aviació militar, d'hospital o de tots els tipus anteriors. La tercera i última lletra fa referència als vehicles que

operen a l'aeroport: avions, globus, planadors, helicòpters o ultralleugers.

- **Aerovies**

Conté els següents atributs per cada aerovia: codi ICAO de l'Estat al que pertany l'aerovia, el nom de l'aerovia, si l'aerovia és de l'espai aeri inferior, superior o dels dos, el tipus d'aerovia (si és convencional, polar, RNAV o TACAN), si és una aerovia d'ús restringit, el nom i atributs dels dos extrems de l'aerovia, quin és el sentit de l'aerovia, les altituds màximes i mínimes de l'aerovia i la data de la informació.

- **Centres ATC**

Conté els següents atributs per cada centre ATC: codi ICAO de l'Estat al que pertany el centre ATC, codi ICAO del centre ATC en sí, nom del centre ATC, l'identificador de ràdio, els límits superiors i inferiors de l'àrea de cobertura del centre ATC i la data de la informació.

- **Àrees d'ús flexible de l'espai aeri (*Boundair*)**

Conté els següents atributs per cada àrea d'ús flexible: codi ICAO de l'Estat al que pertany l'àrea, codi ICAO de l'àrea, nom de l'àrea, tipus d'àrea, les franges horàries d'ús de l'àrea, si es troba a la FIR o a la UIR, els límits superior i inferior de l'àrea i la data de la informació.

El tipus d'àrea pot ser molt divers: des d'àrees condicionals fins a àrees d'entrenament militar passant per àrees perilloses per presència de muntanyes.

- **FIR (*Flight Information Region*) i UIR (*Upper Information Region*)**

Conté els següents atributs per cada FIR o UIR: codi ICAO de l'Estat al que pertany la FIR o UIR, codi ICAO de la pròpia FIR o UIR, nom de la FIR o UIR, el tipus (on es diu si és FIR o UIR), els límits superior i inferior de la FIR o UIR i la data de la informació.

- **Radioajudes**

Conté els següents atributs per cada radioajuda: codi ICAO de l'Estat a la que pertany la radioajuda, codi ICAO de la radioajuda, nom de la radioajuda, tipus de radioajuda (VOR, TACAN, VOR/DME, DME, NDB, d'entre els més destacats), freqüència de la radioajuda, coordenades de la radioajuda i data de la informació.

- **Waypoints**

Conté els següents atributs per cada *waypoint*: codi ICAO de l'Estat al que pertany el *waypoint*, codi ICAO del *waypoint*, nom del *waypoint*, tipus de *waypoint*, classe de *waypoint*, coordenades del *waypoint* i data de la informació.

En aquest cas el tipus de *waypoint* és una combinació de dues lletres; cada lletra té una característica associada. La primera lletra designa si el *waypoint* forma part d'una aerovia, si és RNAV, si és d'una ruta

oceànica, si és d'una ruta polar, si és de fora de ruta o si és de ruta VFR, d'entre els més rellevants. La segona lletra indica si el punt pertany a l'espai aeri inferior, superior o a ambdós.

La classe de *waypoint* fa referència al paper del punt en l'aeronavegació, és a dir, la classe indica si el *waypoint* forma part d'una SID o una STAR, si és un punt fronterer entre dos sectors o espais aeris, etcètera.

- Sectors

Conté els següents atributs per cada sector: codi ICAO de l'Estat al que pertany el sector, codi ICAO del sector i els límits superior i inferior del sector.

Cadascuna d'aquestes capes, està guardada per separat en els arxius de dades del programa. Cada capa és un arxiu .dgn que conté la informació geogràfica dels seus elements, mentre que en la base de dades dels atributs, cada capa és una taula diferent dins del document .mdb.

A les taules d'atributs de la base de dades de Microsoft, els elements estan ordenats per files i cada columna es correspon a un atribut diferent. Tot i així, la primera d'aquestes columnes és un nombre enter que no té res a veure amb informació aeronàutica. És un nombre que relaciona els atributs d'un determinat element amb la seva posició geogràfica que està guardada en els arxius .dgn.

Hi ha dues capes més que són el mapa del món i la quadrícula de les latituds i longituds, que no tenen atributs associats perquè són dues capes que s'obren amb el programa per defecte, i no aporten informació aeronàutica; són les capes que estan de fons en els escenaris que es poden treballar en el programa.

3.1.2.- Utilització a nivell d'usuari i altres possibilitats a part de veure capes

Com hem dit, l'objectiu de Skyview 2 és visualitzar els elements que formen part de l'AIS que són essencials per la navegació aèria.

L'estructura del programa que hem vist, justifica la manera de fer-lo servir a nivell d'usuari. El mètode bàsic és visualitzar la informació per capes, amb algun filtratge previ d'informació si es creu oportú.

Els filtres d'una capa serveixen per reduir el nombre d'elements que es mostren en pantalla d'una capa. Es pot filtrar per cada un dels atributs dels elements d'una capa determinada, o si es vol, hi ha l'opció d'aplicar més d'un filtre utilitzant operadors booleans.

Si prenem per exemple la capa de radioajudes, si es visualitza sense més, el que es veu a la pantalla són totes les radioajudes de l'espai ECAC repartides

pel mapa en forma de puntets vermells. Si abans de visualitzar-la apliquem un filtre com ara: radioajudes espanyoles, que no siguin VOR i tinguin una freqüència menor que 400 MHz; se'ns mostren al mapa una sèrie de radioajudes, entre elles el NDB de Vilanova (VNV). En la Figura 3.1 es mostren els Aeroports, Radioajudes, Aerovies i Àrees d'ús flexible de l'espai aeri de l'Estat espanyol que es troben al territori català.

Per cada element de la capa que s'ha definit, l'usuari pot veure els seus atributs fent doble clic a la icona de l'element. Aleshores s'obre una finestreta petita amb tots els atributs. També hi ha la opció de visualitzar la informació de tota la capa en forma de taula, amb una estructura molt semblant a la forma que tenen les taules de la base de dades del programari; de fet, la base de dades és la font d'aquesta informació.

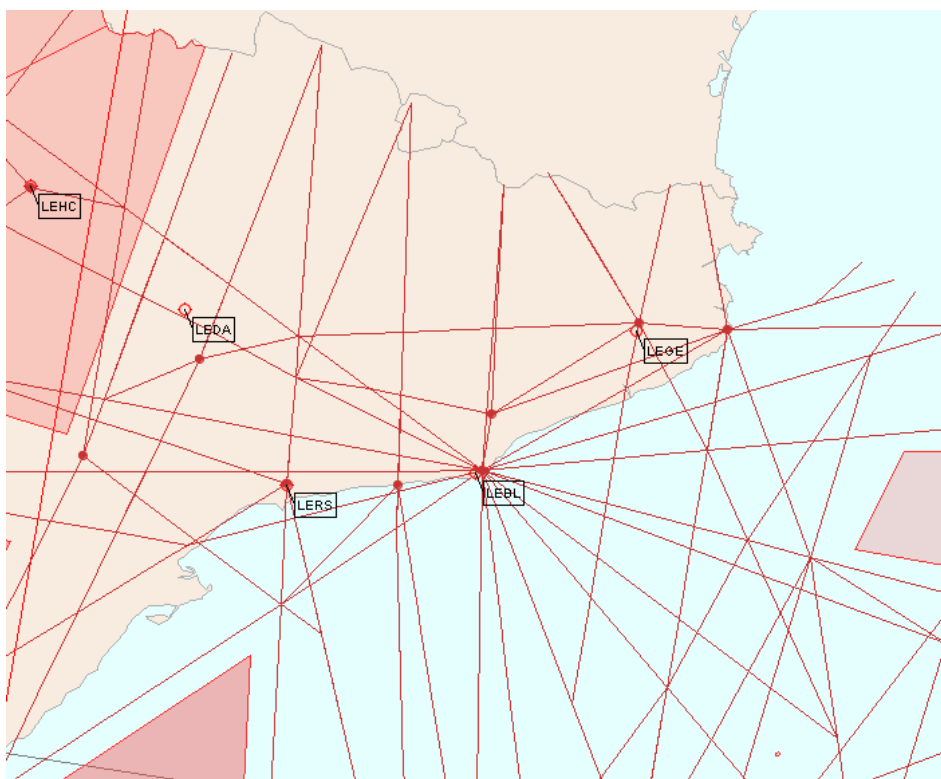


Figura 3.1: Visualització de quatre capes sobre el territori català (Aeroports, Radioajudes, Aerovies i Àrees d'ús flexible de l'espai aeri). Font: Skyview

Una altra opció és la de crear una capa. Segons el tipus de capa que s'esculli (puntual per casos com aeroports, radioajudes o *waypoints*; lineals per casos com aerovies; o superficials per sectors, àrees restringides, etc), l'usuari pot situar i definir els elements en el mapa com ell vulgui. Aquest tipus de capa, que s'anomena *User DataSpace*, és perfectament combinable amb les 8 del programa que ja venen creades.

Mentre es treballa en un escenari determinat, les capes que s'han anat afegint al mapa europeu es poden veure ordenades a la llegenda, a la part esquerra de

la pantalla, on hi ha opcions com ordenar-les, deixar de mostrar-les o fer-les transparents a ser seleccionades amb el ratolí.

Skyview 2 permet guardar els escenaris que l'usuari es crea, amb el nom de *MapSpace* en un arxiu *.ums*, segons la nomenclatura del programa. Els arxius *.ums* guarden les capes que l'usuari ha anat afegint al mapa, amb els filtratges corresponents.

Per guardar un *User DataSpace*, el programa ho guarda en arxius que tenen l'extensió *.uds*. Un *User DataSpace* es guarda per separat dels escenaris fets en base a les 8 capes principals de Skyview 2, ja que el programa per carregar un escenari, carrega les capes de la base de dades amb els seus filtres corresponents; mentre que una capa creada per l'usuari, la guarda com a tal, és a dir, com a una capa més. Aquests arxius desats es poden recuperar fàcilment i importar-los a la aplicació de Skyview 2 des del comandament *File/Open MapSpace* o bé *Data/Open User DataSpace*, respectivament.

Una característica atractiva és que Skyview 2 permet guardar un escenari en KML (*Keyhole Markup Language*), que és un llenguatge de marques per representar dades geogràfiques en 3 dimensions. Aquest format d'arxius és compatible amb el programa Google Earth, per tant, es pot dir que Skyview 2 permet exportar els escenaris creats per l'usuari a Google Earth [17].

3.2.- eDEP

Per escriure aquest apartat, hem pres com a referència bibliogràfica el Projecte de Javier Pascual Ramos [17].

eDEP (de l'anglès *early Demonstration & Evaluation Platform*) és una plataforma de simulació ATM desenvolupada per l'empresa de *software* Graffica sota uns requisits imposats per Eurocontrol. eDEP es centra en la simulació de les posicions de controlador de trànsit aeri (tant del tàctic com del planificador), però també simula posicions de pilot, ja que són els pilots els encarregats de pilotar les aeronaus. Les abreviatures que s'utilitzen són CWP (de l'anglès *Control Working Position*) i PWP (de l'anglès *Pilot Working Position*), respectivament.

La creació d'eDEP (principis de la dècada del 2000) va arribar a causa de les mancances que presentaven les plataformes que Eurocontrol ja tenia per a fer simulacions, com ara ESCAPE, PROVE o AVENUE. Els trets característics que es buscaven en aquesta nova plataforma que seria eDEP són: flexibilitat, escalabilitat, de codi accessible per provar noves funcionalitats, bon compromís entre la complexitat de manteniment i les funcionalitats que ofereix i, finalment, que sigui capaç de treballar amb dades d'entrada reals i per tant, sigui capaç de reproduir situacions de control de trànsit aeri el més fidels possibles a la realitat [18].

eDEP s'executa sobre una màquina virtual de Java, el que significa que és multi plataforma o *cross - platform*. Es pot executar allà on es pugui executar una màquina virtual de Java, tant en MacOSX, distribucions conegudes de Linux (Debian, RedHat), Solaris o Microsoft Windows, entre altres. Aquestes característiques fa que eDEP sigui flexible i portable, a més de ser de ràpida i senzilla instal·lació.

eDEP està pensat per poder realitzar simulacions en mode monoposició o en mode distribuït.

El mode monoposició serveix per dur a terme tota una simulació amb tots els elements en un sol ordinador. Totes les posicions de controlador que s'han definit apareixen en finestres una darrera l'altra, així com la finestra de la posició de pilot o la consola del temps que permet engegar, posar en pausa o fer anar el temps més ràpid.

El mode distribuït és el que s'ajusta més a la realitat, perquè permet fer una mateixa simulació amb tants ordinadors com es vulgui, ja que a cadascun d'ells se li pot assignar una o varies posicions de controlador o pilot.

eDEP segueix el model client - servidor. És a dir, hi ha una màquina que s'ha de declarar quina és que s'encarregarà d'executar els serveis comuns (espai aeri, performances dels avions, servei de temps...) que és la que farà de servidor, i totes les que simulin una o varies posicions CWP o PWP actuaran com a clients i utilitzaran el servidor per compartir la informació necessària.

Eurocontrol, i en particular Eurocontrol Experimental Centre (EEC), han utilitzat eDEP per treballar en projectes de desenvolupament de conceptes de control del trànsit aeri, experiments a petita escala o demostracions i formació [18].

La Figura 3.2 mostra com es veu eDEP des de la posició de controlador aeri.

3.2.3.- Configuració dels fitxers d'eDEP

eDEP és una plataforma de simulació d'ATC en la que l'usuari es pot configurar l'escenari que vulgui per crear qualsevol simulació. En aquest apartat expliquem i descrivim com es configura un escenari de simulació.

Per a descriure aquest apartat, hem pres com a referència bibliogràfica el manual d'usuari del programa [19] i hem explicat com configurar els fitxers i l'efecte que això té en la simulació, més enllà de la sintaxi a seguir, que és l'únic que hi ha en el manual d'eDEP.

Per crear aquest escenari, cal configurar 3 fitxers fonamentals: l'espai aeri, els plans de vols i el fitxer GSDK; tots ells són fitxers de text que han de seguir una sintaxi establerta per a definir cadascun dels components explicats a continuació.

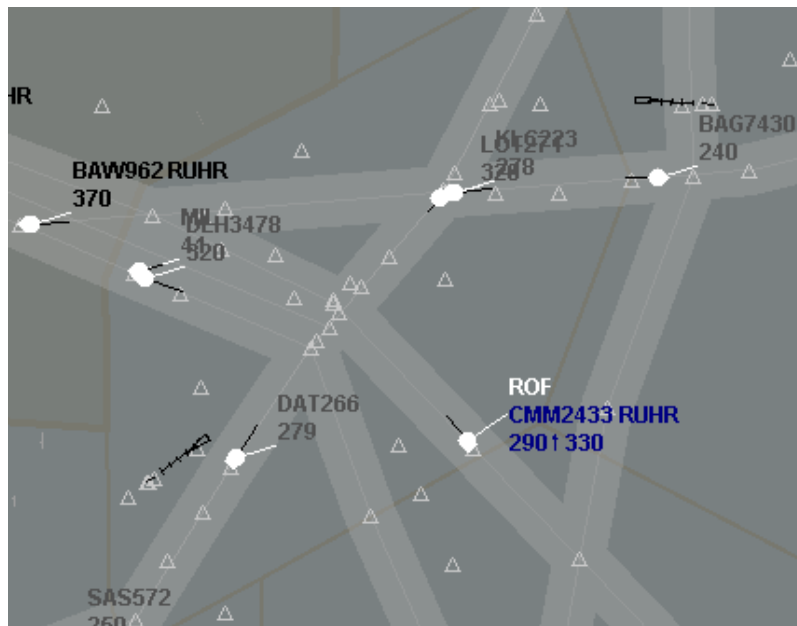


Figura 3.2: Captura de pantalla d'una posició de controlador tàctic

3.2.3.1.- Configuració de l'espai aeri

El fitxer de configuració de l'espai aeri, com el seu nom indica, és on es defineixen tots els atributs que ajustaran l'escenari a allò que nosaltres volem, és a dir, tots els elements estàtics de la simulació. És un fitxer de text que s'ha de guardar amb l'extensió “.dat”.

En aquest fitxer de configuració de l'espai aeri es poden fixar els següents components (entre parèntesi en nomenclatura eDEP):

- **Aeroports (*Airports*)**
Per definir un aeroport s'escriu el codi ICAO de l'aeroport, la posició geogràfica i s'hi poden definir les pistes que conté per simular SIDs o STARs (veure més endavant). Cal definir tots els aeroports que intervenen en la simulació, fins i tot aquells que no estiguin sota el nostre control però siguin l'origen o destinació d'un avió que en un moment o altre apareixerà a la nostra simulació, ja que l'origen i destinació d'un avió són dades transcendents en el control aeri. Només en cas de definir les pistes i associar-hi procediments d'arribada o sortida, aquest aeroport apareixerà al mapa, sinó no surt.
- **Acords (*Agreements*)**
Un *agreement* és una mena d'ordre automàtic en un punt determinat de la ruta, relacionat amb els nivells de vol dels avions. Per definir un *agreement*, cal donar-li un nom a aquest, cal indicar els punts fixos a on

s'aplica, cal filtrar les aeronaus que estan sotmeses a aquest *agreement* i s'imposa l'ordre de l'*agreement*.

Aquest filtratge pot ser per l'origen o a la destinació de l'avió, pels avions que passen per una determinada aerovia o pels que segueixen una determinada SID o STAR. Posteriorment, es poden determinar a quins nivells de vol afecta l'*agreement*, utilitzant els operadors més típics (<, >, = i la combinació d'aquests), i s'imposa l'ordre que es vol (per exemple: si l'avió vola entre FL200 i FL250, mantenir FL230)

- Punts significatius (Fix)

Es consideren fix aquells punts significatius en les rutes aèries, que tant poden ser *waypoints* com radioajudes. Per a aquests components, es defineixen les coordenades del punt on es troba i el nom que té associat. Com a informació extra, que no té rellevància en la simulació, es pot escriure si és *waypoint*, VOR, DME, NDB, etc.

- Circuits d'espera (*Hold*)

Per definir un circuit d'espera cal indicar el nom del circuit, el fix que jugarà el paper de IAF, la distància del tram recte del circuit, la velocitat CAS que cal mantenir, l'orientació del tram recte base en graus i el sentit de rotació. El fix que té un circuit d'espera associat apareix a la pantalla radar del controlador de color groc, a diferència de la resta de fixos que són de color blanc per defecte.

- Carta d'acord (*Letter of Agreement*)

Les *letters of agreement* serveixen per marcar a partir de quins punts es poden fer les transferències dels avions entre controladors. Per definir una LOA, cal donar-li un nom, definir el fix en què aplica i els sectors que intervenen (cal indicar quin és el sector de sortida i quin el d'entrada, tot i que també pot ser bidireccional). A més, com a informació no obligatòria es pot definir un temps que és quan abans d'arribar al fix que aplica la LOA, l'avió ja serà transferible al control del següent sector.

A part d'això, la definició d'una LOA activa una pestanya (SIL, segons la nomenclatura d'eDEP) a la finestra del controlador del sector entrant que llista els avions que passaran pel fix associat a la LOA i en quin instant ho faran. Això serveix per tenir un requadre amb la informació dels vols que entren al sector per aquell punt, i així fer-ho més còmode i gràfic per al controlador.

- Àrees restringides (*Restricted Area*)

Per definir-les cal indicar a quina alçada tenen els límits inferior i superior, i cal indicar totes les coordenades dels vèrtex que donen la forma en planta corresponent.

- Rutes (*Routes*)

Les rutes (segons la nomenclatura eDEP) o aerovies es defineixen unint els fixos que es desitja. Com a tots els components, cal donar-li un nom.

- Pistes (*Runways*)

Per definir una pista, cal indicar el nom de la pista, les coordenades de la capçalera, la longitud de pista i la inclinació respecte el nord en graus. A més, és aquí on es pot definir si la pista té ILS, i quines característiques té aquest.

- Sectors (*Sectors*)

Per definir un sector, s'ha d'indicar el nom del sector, l'alçada que comprèn (posant els límits inferior i superior), les coordenades que defineixen la forma de polígon en planta que té el sector, el centre ATC que està al càrrec d'aquest sector, quin tipus de sector és (de ruta o d'aproximació) i la freqüència del sector per a les comunicacions (només serveix per quadrar i relacionar les posicions de pilot amb els sectors de control).

Com que els sectors solen ser alguna cosa més que un polígon en planta i aixecat cap amunt, es poden definir sectors multi volum, és a dir, sectors que tenen formes més complexes. Hi pot haver zones que un sector les cobreix fins a nivell de terra o bé que hi hagi un TMA a sota del sector en qüestió i per tant el límit inferior varia segons la posició. Per tant un sector multi volum es pot configurar com a una suma de sectors; cal escriure les coordenades de cada punt de la planta i definir els límits verticals de cada volum del sector.

- SID

eDEP permet definir SIDs, que com tota la resta d'elements, cal donar-li un nom. Per definir una SID s'ha d'associar a un aeroport i a una pista d'aquest aeroport. Per definir la trajectòria es fa un llistat de fixos que seguirà l'avió indicant quina alçada i velocitat ha de tenir l'avió en cada un d'aquests punts.

- STAR

El mètode per definir STARs és anàlog al de les SIDs, amb la única diferència que s'ha d'especificar cada punt en quina fase es troba, si inicial, intermitja o final.

- Unitats (*Units*)

Una unitat serveix per agrupar sectors i tenir-los sota una mateixa posició de controlador. Les unitats permeten flexibilitat en el nombre de controladors de l'espai aeri, ja que es poden agrupar més o menys sectors sota una posició de controlador simulant situacions de la vida real, en què a partir dels sectors bàsics es fan agrupacions diferents en funció de l'hora del dia o de l'època de l'any, tot en funció de la demanda.

Això vol dir que en eDEP s'assignen unitats als llocs de controlador; no sectors.

3.2.3.2.- Plans de vol

En el fitxer dels plans de vol també és un fitxer de text amb l'extensió “.dat” on només s'inclouen els plans de vol de les aeronaus que volem en la simulació. Un pla de vol segueix una estructura definida i cal descriure les següents variables obligatòriament:

- **Callsign (identificador de vol)**
L'identificador de vol és l'identificador mitjançant el qual els controladors tenen identificades les aeronaus. Per referir-se a un avió en concret, s'utilitza el *callsign*.
També és l'identificador que s'utilitza en la posició de pilot.
- **Temps d'activació**
És el temps en el qual es desitja que l'aeronau en qüestió comenci a seguir el seu pla de vol en la simulació. Aquest temps va referit al temps de simulació.
- **Origen**
És l'aeroport del que ha sortit l'aeronau. Pot estar dins l'espai de simulació que hem definit en el fitxer de configuració de l'espai aeri o no, però ha d'estar declarat.
- **Destinació**
És l'aeroport al que es dirigeix l'aeronau; passa el mateix que amb l'origen. L'origen i la destinació no són de gran importància en la simulació, però s'inclouen com a camps obligatoris perquè a la realitat és obligatori presentar en el pla de vol quins són els aeroports d'origen i destinació. A part, són molt útils pels controladors ja que la seva presència permet fer un primer esbós mental de la ruta aproximada d'un avió, i això facilita a la hora de prendre decisions correctes.
- **Nivell de vol sol·licitat**
És el nivell de vol que s'especifica en un pla de vol. Les companyies volen anar a aquest nivell de vol però després, per qüestions ATM, pot ser que això no sigui possible.
- **Codi SSR**
Codi del radar secundari que no té gaire transcendència en la simulació.
- **Temps estimat d'enlairament**
El temps en què es preveu l'enlairament de l'aeronau.
- **Model d'aeronau**
El model d'aeronau és important definir-lo ja que eDEP té una base de dades amb totes les *performances* de cada model d'aeronau. Això fa la simulació més realista.
- **Estela turbulenta**

Cal indicar si l'estela de l'aeronau és *heavy*, *medium* o *light*, ja que en els procediments de vol que dictamina la ICAO cal mantenir diferents separacions entre aeronaus en funció de l'estela que deixen.

- Velocitat de creuer (en nusos)
És la velocitat a la que volem que vagi l'avió en la simulació.
- Matrícula de l'aeronau
Com altres variables, és de poca transcendència en la simulació però li dona versemblança.
- Ruta
Es podria dir que és la part més important del pla de vol, perquè a la fi és en aquest camp on s'escriu quina serà la ruta de l'aeronau. La ruta es pot definir com a una successió de fixos, com a una successió d'aerovies (rutes segons la nomenclatura eDEP) o com a una combinació de fixos i aerovies.

Apart d'aquests camps, també se'n poden definir uns altres que no són obligatoris. Aquests són: el nivell de vol inicial de la simulació, el nivell de vol autoritzat, el mode de radar secundari, codi ICAO de 24 bits, regles de vol, tipus de vol (civil o militar), equip *datalink*, capacitat ASAS, equipament ADS-B (de l'anglès *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*), capacitat RVSM (de l'anglès *Reduced Vertical Separation Minima*) i la companyia aèria que explota el vol.

Per definir els diferents plans de vol, s'escriuen tots els plans de vol i es van succeint un a sota de l'altre.

3.2.3.3.- Fitxer GSDK

En el fitxer GSDK s'indica quins serveis es volen executar i sota quina configuració, la ubicació del fitxer de mapa, espai aeri, performances dels avions (fitxer amb dades de les performances de tots els tipus d'avions) i trànsit.

El fitxer GSDK és el que permet definir les posicions de controlador i les de pilot, a més de carregar una sèrie de variables que requereix el programa per executar-se, entre les quals es troben el fitxer d'espai aeri i el fitxer de trànsit aeri. També es tracta d'un fitxer de text però amb l'extensió ".gskd".

És en aquest fitxer on es defineix cada posició de controlador de quin tipus serà; si tàctic, planificador o *feeder* (segons la nomenclatura d'eDEP). Un *feeder* no és més que un dels sectors que envolten el nostre espai aeri, per així tenir una unitat de control a qui transferir les aeronaus i amb qui contactar per agafar el control d'una aeronau entrant al nostre sector, tot per fer-ho més realista.

En aquest apartat, com que ho analitzem a nivell d'usuari no entrem a buscar el detall dels arxius de variables que carrega, però expliquem una mica quins són els que són bàsics per a una simulació.

Per poder executar la simulació, eDEP necessita una infinitat de variables declarades amb un valor determinat. Si no es declaren, el propi programa té uns valors per defecte. Aquest és el cas que expliquem i es fa carregant una sèrie de fitxers d'eDEP des del GSDK. Els fitxers a carregar són:

- @LOAD "[atcapp/resources/common/standalone_demo_defaults.gsdk](#)"
- @LOAD "[atcapp/resources/common/scenario/uk/airspace_defaults.gsdk](#)"
- @LOAD "[atcapp/resources/common/pwp_defaults.gsdk](#)"

Cadascun d'ells conté uns valors predeterminats o carreguen altres arxius, com en el cas del primer, que si s'obre, es veu que carrega l'arxiu de valors predeterminats de la CWP, i aquest carrega l'arxiu de valors per defecte de l'ATC.

Posteriorment, tornant al fitxer GSDK en sí, cal definir la hora d'inici de simulació, que és la referència de tots els càlculs que fa el programa per predir trajectòries, calcular temps de ruta i coordinar amb el temps d'activació dels plans de vol de l'arxiu de plans de vol.

Cal indicar quins són i on es troben els fitxers dels mapes geogràfics que són la base de les pantalles radar dels controladors amb les que visualitzen el trànsit aeri. Tanmateix, s'ha d'especificar la ubicació dels fitxers d'espai aeri i de plans de vol.

El següent pas clau en el fitxer GSDK és definir els components. La definició d'aquests components inclou activar els serveis d'eDEP que hem citat amb anterioritat i indicar quines CWP i PWP hi haurà en la simulació.

A continuació es mostra un fragment del fitxer GSDK on s'activen els serveis i al final s'activa una posició de controlador anomenada EETAC:

```
COMPONENTS ( ( atccore.ts.TS,          TS          ),
              ( atccore.console.Console, Console    ),
              ( atccore.airspace.ASP,    ASP        ),
              ( atccore.performance.ACR, ACR        ),
              ( atccore.ifpl.IFPL,       IFPL       ),
              ( atc.fm.FM,               FM        ),
              ( atc.pm.PM,               PM        ),
              ( atc.tp.TP,               TP        ),
              ( atc.ias.IAS,             IAS        ),
              ( atc.mtcd.MTCD,           MTCD       ),
              ( atc.coordination.CS,     CS         ),
              ( atc.stca.STCA,           STCA       ),
              ( atc.cwp.CWP,             CWP_EETAC  ), ...
```

Per acabar, el fitxer GSDK conté un text de configuració per cada posició de controlador o de pilot. Per configurar un CWP, cal indicar la unitat que controla aquest CWP i el tipus de controlador (tàctic, planificador o *feeder*). També hi ha una sèrie de paràmetres modificables que fan referència a les mesures de la finestra que s'obre per fer de controlador, les mesures del mapa o el centratge del mapa, entre d'altres.

A més, a la finestra del CWP s'hi poden incloure elements com el general *toolbox* o el radar *toolbox*; ambdós són uns requadres que apareixen per oferir un plus en la visualització de dades de la simulació, així com botons d'accés directe a la configuració de la pantalla com ara una barra de zoom, un botó per centrar el mapa, una escala per variar la mesura del vector velocitat dels avions, etc.

Tot seguit hi ha un extracte exemple de configuració d'un CWP anomenat EETAC1:

```
CWP_EETAC1_T.UNIT          EETAC1
CWP_EETAC1_T.ROLE          TACTICAL
CWP_EETAC1_T.PVD.X         0
CWP_EETAC1_T.PVD.Y         0
CWP_EETAC1_T.PVD.WIDTH     634
CWP_EETAC1_T.PVD.HEIGHT    670
CWP_EETAC1_T.PVD.SCALE     1000
CWP_EETAC1_T.CRD.X         0
CWP_EETAC1_T.CRD.Y         697
CWP_EETAC1_T.CRD.WIDTH     327
CWP_EETAC1_T.CRD.HEIGHT    280
CWP_EETAC1_T.VPT.X         334
CWP_EETAC1_T.VPT.Y         697
CWP_EETAC1_T.VPT.WIDTH     300
CWP_EETAC1_T.VPT.HEIGHT    280
CWP_EETAC1_T.HYBRID        FALSE
CWP_EETAC1_T.GENERAL_TOOLBOX.PRESENT TRUE
CWP_EETAC1_T.RADAR_TOOLBOX.PRESENT TRUE
```

Per la seva banda, per configurar un PWP la manera de fer-ho és bastant semblant a la d'un CWP. Tot i així en podem destacar algunes diferències bastant significatives com l'assignació d'una freqüència a cada posició de pilot que es defineix. Això vol dir que una posició de pilot controla tots els avions que tenen sintonitzada la freqüència de control d'aquell sector; hi ha d'haver tantes posicions de pilot com sectors en la simulació. És per això que se'l anomena pseudo-pilot.

Pel que fa a la configuració de la finestra de controlador, es poden modificar tots els paràmetres que es poden en el CWP, incloent elements propis del PWP, com ara el requadre on surt el llistat de totes les aeronaus que té sota control el pseudo-pilot o el requadre on hi ha totes les operacions que pot fer el PWP que afecten al vol de les aeronaus (canviar el rumb, el nivell de vol, la velocitat, la variació d'ascens, etc).

A continuació es veu un fragment del fitxer GSDK que configura un PWP:

```
PWP_EETAC.FREQUENCY ( 133.55 )
PWP_EETAC.WIDTH      800
PWP_EETAC.HEIGHT     800
PWP_EETAC.PVD.WIDTH  500
PWP_EETAC.PVD.HEIGHT 450
PWP_EETAC.PVD.LATITUDE 51.5
PWP_EETAC.PVD.LONGITUDE 7.3
PWP_EETAC.PVD.SCALE   500
PWP_EETAC.MESSAGE_IN.PRESENT FALSE
PWP_EETAC.MESSAGE_OUT.PRESENT FALSE
PWP_EETAC.GENERAL_TOOLBOX.PRESENT FALSE
PWP_EETAC.RADAR_TOOLBOX.PRESENT TRUE
```


CAPÍTOL 4. EXERCICIS I PRÀCTIQUES PROPOSATS

Aquest Capítol conté una descripció dels objectius dels exercicis teòrics i pràctiques que proposem en aquest Projecte per a l'assignatura d' "Infraestructures del Transport Aeri", i també una descripció d'aquests.

4.1.- Exercicis teòrics

En aquest apartat expliquem de què tracten els exercicis teòrics i els objectius de cadascun d'ells; els enunciats i resolucions es troben a l'Annex A.

Per un primer contacte amb la matèria, hem realitzat un test de preguntes sobre el capítol 1 del llibre editat per Andrew Cook *"European Air Traffic Management. Principles, Practice and Research"* [2]. L'objectiu del test és fer que els alumnes es llegeixin el primer capítol del llibre, per adquirir una noció general dels temes que tractaran en l'assignatura durant el curs.

En aquest fragment del llibre s'expliquen conceptes bàsics com quins són els serveis de navegació aèria i quina funció tenen, el context històric i el desenvolupament de l'ATC, les principals regulacions i coordinacions entre organismes internacionals, la organització de l'espai aeri europeu o com treballen els controladors aeris i quina és la seva metodologia.

El següent exercici que proposem és omplir un pla de vol per a cadascun dels següents casos: dos vols instrumentals que fan rutes relativament llargues operats per una companyia aèria i dos vols en una aeronau més lleugera, que no són programats ni explotats per una companyia.

A més, també hem dissenyat dues situacions diferents per treballar el pla de vol repetitiu, ja que la forma del document varia respecte del pla de vol senzill, però al cap i a la fi, el contingut és pràcticament el mateix.

L'objectiu de l'exercici és que l'alumne faci recerca al Document 4444 de la ICAO [11] i al llibre editat per Andrew Cook [2] de com cal omplir i presentar un pla de vol en cadascuna de les situacions que se li plantegen.

Per últim, hem realitzat dos qüestionaris en forma de test per treballar els procediments de vol i les cartes aeronàutiques. Un dels qüestionaris és l'anàlisi d'una carta de SIDs de l'aeroport de Lyon (LFLL) i l'altre és d'una carta d'aproximació de no precisió a Menorca (LEMH).

Amb aquests qüestionaris es busca la familiarització amb la nomenclatura i els elements gràfics aeronàutics de les cartes aeronàutiques, com també la comprensió d'aquests. Són procediments d'aeroports d'Estat diferents per així poder veure les diferències i punts en comú que hi ha entre les cartes de l'AIP de dos Estats diferents.

4.2.- Pràctica ATC

Aquesta pràctica de control de trànsit aeri és una simulació simplificada de l'ATC de la FIR/UIR de Barcelona, amb l'objectiu de que els alumnes siguin els controladors d'aquest espai aeri. La pràctica està pensada perquè el temps de simulació sigui de tres hores (es simula el període que va de les 8h del matí fins a les 11h) i hi hagi un màxim de 22 llocs de controlador, i un màxim de 14 llocs per pseudo-pilots. Tenint en compte que un controlador professional està entre 30 i 60 minuts al lloc de treball, la resta d'estudiants que no ocupi una posició de controlador (fins arribar a la quarantena que s'espera que hi hagi per grup) estaran "descansant"; i les posicions de controlador, pseudo pilot i "descans" aniran rotant al llarg de la pràctica.

Es simulen llocs de controlador de ruta (tant tàctic com planificador), llocs de controlador de TMA (tant tàctic com planificador) i llocs de controlador d'aproximació només a nivell tàctic perquè la càrrega de treball és considerablement inferior als altres dos llocs; es considera que un sol controlador pot gestionar tot el sector d'aproximació.

Els objectius de la pràctica són diversos, d'entre els quals podem destacar:

- Tenir una presa de contacte amb el món del control del trànsit aeri, des de la perspectiva dels controladors aeris.
- Treballar amb un programari professional de simulació d'ATC com és eDEP, utilitzat en molts projectes d'Eurocontrol [6].
- Prendre consciència de la dificultat i el nivell de concentració que requereix ser controlador aeri.
- Familiaritzar-se amb la nomenclatura i fraseologia dels diàlegs en el control del trànsit aeri.
- Aprendre a resoldre conflictes en vol, proposant solucions coherents i respectuoses amb la normativa.
- Motivar l'estudiant amb una pràctica el més semblant possible a la realitat.

Per fer aquesta pràctica, cal utilitzar el laboratori SA2G de l'Escola i configurar la simulació en mode distribuït d'eDEP, per tenir una posició de controlador o pseudo-pilot per cada ordinador de la sala. La configuració de la simulació en aquestes condicions va ser ja objecte d'un Treball Fi de Carrera de l'Escola [17]. En el present Projecte, en canvi, ens centrem en crear de la manera més realista possible l'escenari de simulació desitjat, cosa que inclou la introducció de l'espai aeri, els procediments de vol i el trànsit d'aeronaus a eDEP.

4.2.1.- Creació de l'espai aeri de l'escenari

Per crear la FIR/UIR de Barcelona ens hem basat en les dades de Skyview 2 i l'AIP espanyola.

4.2.1.1.- Sectorització simulada

Per fer la sectorització del nostre escenari de la FIR/UIR de Barcelona, hem pres els sectors de Skyview 2 com a referència, però ho hem simplificat a base d'unir alguns d'aquests sectors. Això fa que els sectors resultants del nostre escenari siguin més grans que els de la realitat, facilitant així una mica la tasca de controlador ja que hi haurà menys coordinacions a fer. D'altra banda, també mantenim el nombre de posicions de control a un nombre raonable, ja que el laboratori SA2G només té 24 màquines i la complexitat de la simulació ha de ser assequible pels professors que estaran donant suport a la pràctica.

El resultat de la sectorització és que en el nostre escenari d'eDEP tenim tres sectors de ruta per tota la FIR/UIR, anomenats LECB_ENR1, LECB_ENR2 i LECB_ENR3. Aquesta nomenclatura porta el codi "LECB" com a prefix, que és el codi ICAO dels sectors compresos en la FIR/UIR de Barcelona; la segona part del nom és "ENR", que és l'abreviació del terme "en ruta" utilitzat a l'AIP, seguit d'una xifra de numeració dels sectors. Veure Figura 4.1.

Els sectors de TMA i d'aproximació porten per nom el codi ICAO de l'aeroport que tenen associat (en el cas dels TMA amb més d'un aeroport, el nom de l'aeroport que dóna nom al TMA [8]), seguit d'una abreviació que indica si es tracta de sector TMA o d'aproximació (APP).

Aquests sectors del nostre escenari surten d'unir uns sectors "reals" obtinguts amb l'eina Skyview 2. Per fer aquestes unions a eDEP, hem pres els punts geogràfics que delimiten el perímetre dels sectors de Skyview 2 units, per així poder definir els sectors a eDEP. Veure Annex B.

En la nostra simulació, els sectors de ruta van de 46000 ft d'alçada (nivell de vol 460) a un límit inferior variable segons el sector. El criteri que hem pres ha estat definir el límit inferior del sector segons l'alçada mínima de l'aerovia més baixa compresa en aquest [8].

L'espai aeri espanyol és controlat des del nivell de vol 460 fins al nivell de vol 150 i en les aerovies definides a les cartes de ruta. Com que en la nostra simulació les posicions de pseudo pilot controlen els avions que estan en un sector definit, hem ampliat el volum dels sectors de ruta per tal de no trobar-nos amb avions que estan en la simulació però que ningú pot pilotar (avions que es trobarien en una regió d'espai aeri que no forma part de cap sector). Cal tenir en compte, però que sempre que hi hagi un TMA a sota del sector de ruta, llavors el límit inferior és el propi sostre del TMA.

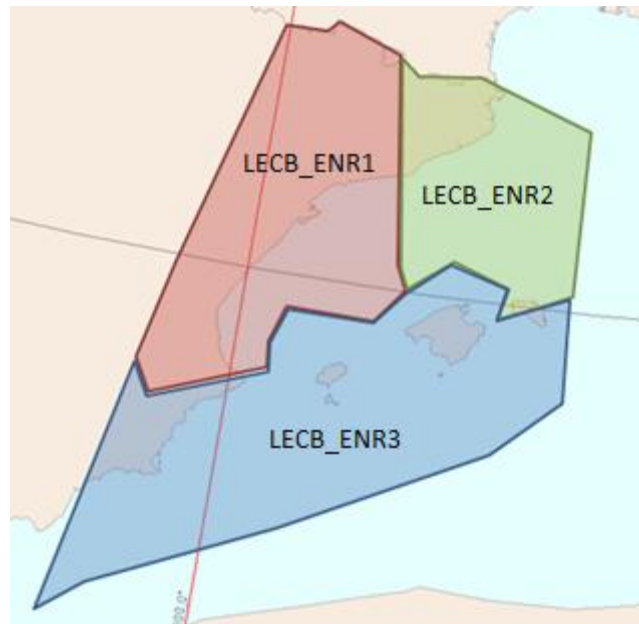


Figura 4.1: Sectors de ruta

Pel que fa als TMAs del nostre escenari, hem mantingut el TMA de Barcelona, el TMA de Palma de Mallorca i el TMA de València, suprimint el TMA de Múrcia ja que és bastant petit i l'aeroport de Múrcia no és gaire transitat en comparació amb els que hem citat [20]. Dels TMAs hem respectat la forma que tenen segons les cartes de l'AIP d'Espanya i Skyview 2, la diferència és que n'hem simplificat la seva sectorització. Veure la Figura 4.2.

En el nostre escenari, els sectors de TMA van des de 1000 ft fins al nivell de vol 245 (24500 ft), que és on hi ha la separació entre la FIR i la UIR a Espanya [8]. Passa el mateix que amb els sectors de ruta, aquests límits verticals inferiors són en tota la part que no hi ha un sector d'aproximació a sota. La única excepció en els sectors de TMA és que el sector de TMA de València té un límit inferior que arriba al nivell del terra, ja és un sector que també fa de sector d'aproximació de l'aeroport de València.

Els sectors de ruta i els sectors de TMA estan configurats a eDEP com a sectors multi volum, ja que per sota tenen altres sectors que fan que el seu límit inferior variï en funció de la zona.

Per acabar amb la sectorització, hem definit un sector d'aproximació en els aeroports de Barcelona, Girona, Reus, Palma de Mallorca, Menorca i Eivissa. El sector d'aproximació de València hem considerat que serà el mateix TMA, per simplificació i perquè Skyview 2 no defineix un sector petit a sobre de l'aeroport.

Tots els nostres sectors de simulació es mostren a la Taula 4.1, així com les freqüències que els hi hem assignat per les comunicacions, extretes de l'AIP d'Espanya [8].

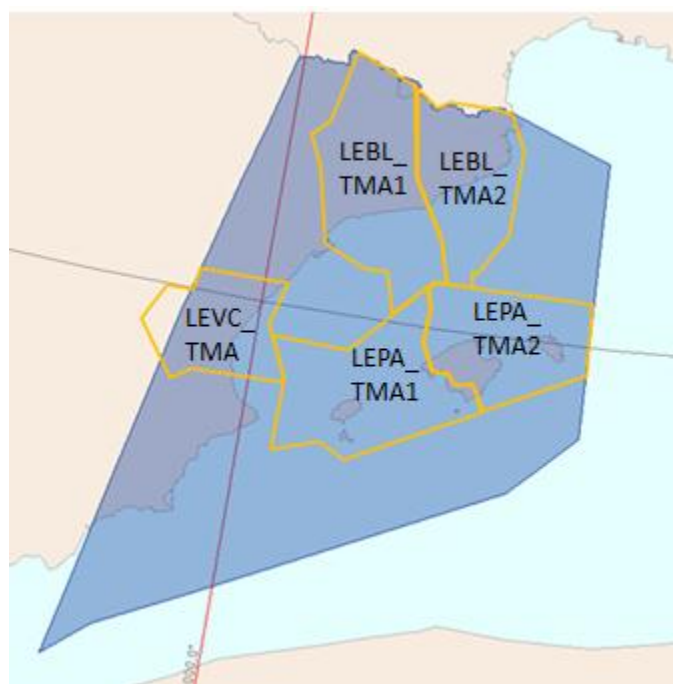


Figura 4.2: Sectors de TMA

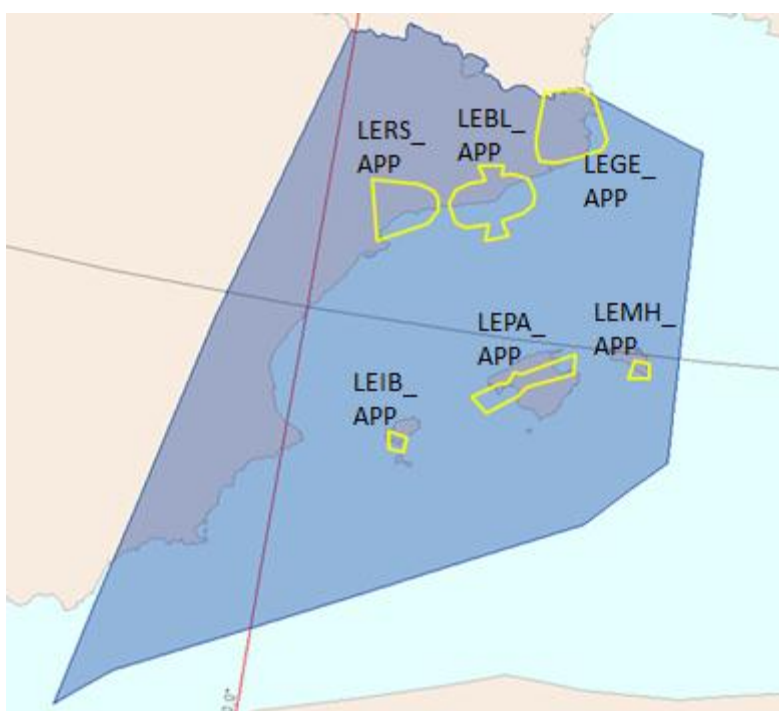


Figura 4.3: Sectors d'aproximació

Taula 4.1: Enumeració dels sectors que hem definit per la simulació, la seva freqüència associada i els sectors “reals” que hem unit.

Sector de la simulació	Freqüència (MHz)	Sectors “reals” agrupats (font: Skyview 2)	Límit superior i límit inferior en la nostra simulació
LECB_ENR1	133,55	LECBPP2 + LECBP1U + LECBLVU	FL 460 4500 ft / FL 245
LECB_ENR2	133,02	LECBCCC + LECBVNI + LECBMNU	FL 460 4500 ft / FL 245
LECB_ENR3	126,65	LECBLAG + LECBVVS + LECBMMS	FL 460 3500 ft / FL 245
LEBL_TMA1	121,15	LEBLNW4 + LEBLSW3 + LEBLGARI	FL 245 2000 ft
LEBL_TMA2	126,5	LEBLGR1 + LEBLBL1 + LEBLGR2 + LEBLBL2	FL 245 3000 ft
LEPA_TMA1	122,3	LECPOXX + LECPGXX + LECPIRX	FL 245 1000 ft
LEPA_TMA2	122,5	LECPLNX + LECPLSX + LECPDE2 + LECPMXX	FL 245 1000 ft
LEVC_TMA	120,1	LECLVLC	FL 245 GND
LEBL_APP	119,1	LEBLSABA + LEBLFWR + LEBLFWL + LEBLVIBI + LEBLFER + LEBLFEL	6000 ft GND
LEGE_APP	120,9	LEGETA	6000 ft GND
LERS_APP	118,15	LERSTA	6000 ft GND
LEPA_APP	119,4	LECPAPP + LECPATA	6000 ft GND
LEMH_APP	119,65	LEMHTA	6000 ft GND
LEIB_APP	119,8	LEIBTR	6000 ft GND

4.2.1.2.- Aeroports

Els sectors d'aproximació citats anteriorment van associats a un aeroport, per tant, hem hagut de definir tots aquells aeroports que tenen sector d'aproximació. Dels aeroports compresos en la FIR de Barcelona hem definit: Barcelona (LEBL), Palma de Mallorca (LEPA), Girona (LEGE), Reus (LERS), Menorca (LEMH), Eivissa (LEIB), València (LEVC) i Alacant (LEAL). Aquests són els aeroports en els que controlarem les arribades i sortides.

No obstant, també hem definit tots els aeroports que són d'origen o destí d'algun dels avions del nostre trànsit, que no estan dins la FIR de Barcelona. Per aquests aeroports, com hem vist en el Capítol 3, el més important és que estiguin declarats perquè la simulació funcioni, però com hem dit, no juguen un

paper actiu dins de la simulació. Per tant, els hem definit tots però sense situar-los en les seves coordenades reals, per una qüestió de simplicitat.

Pels aeroports que sí que estan dins de la FIR de Barcelona i intervenen en la nostra simulació, hem definit una pista per poder simular sortides i arribades, excepte en els aeroports de Barcelona i Palma de Mallorca que els hi hem assignat dues pistes a cadascun, per motius de versemblança. En la definició de les pistes hem situat les pistes en el mateix punt geogràfic que l'aeroport i hem definit els seus atributs principals com ara longitud o orientació [8]. Veure Taula 4.2.

En la Figura 4.4 es pot veure el resultat de la nostra sectorització de l'espai aeri ja introduïda a eDEP, juntament amb unes línies de tall. La figura mostra tots els sectors de tots els tipus: de ruta, d'àrea terminal o TMA i d'aproximació. La Figura 4.5, Figura 4.6 i Figura 4.7 il·lustren les diferents seccions verticals, on es poden apreciar les variacions en les alçades dels diferents sectors.

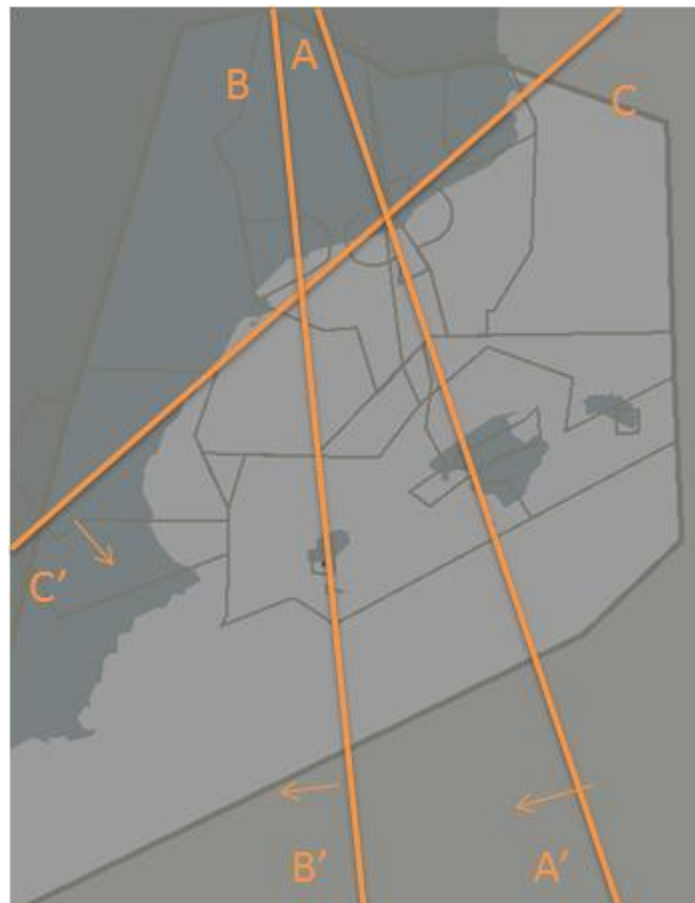


Figura 4.4: Representació de tots els sectors definits per a la pràctica ATC i línies de tall. Font: eDEP

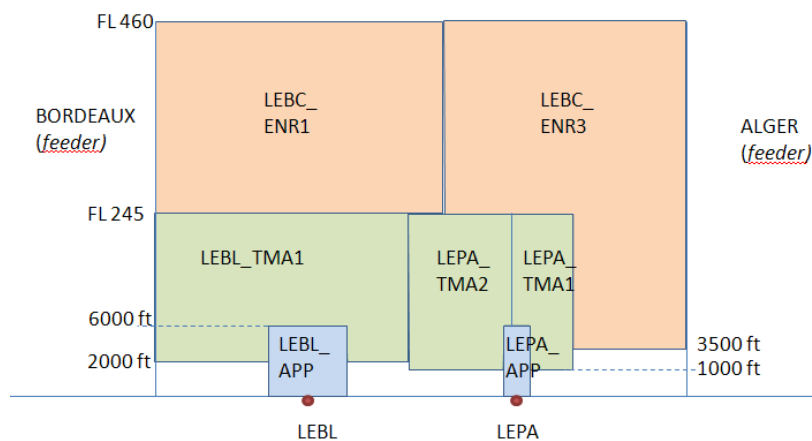


Figura 4.5: Secció A-A'

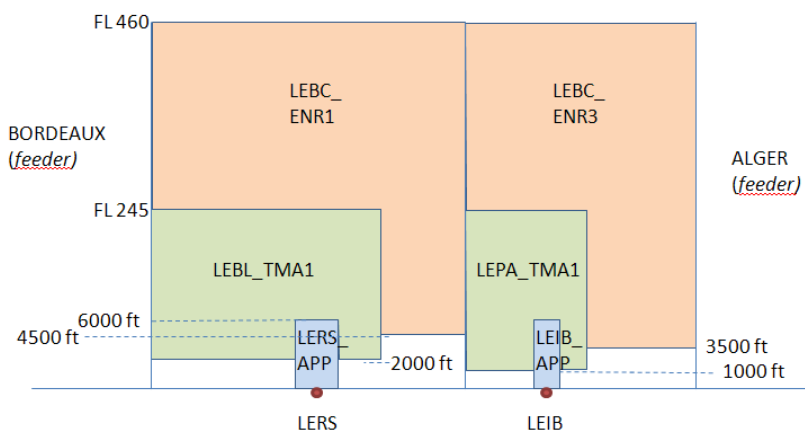


Figura 4.6: Secció B-B'

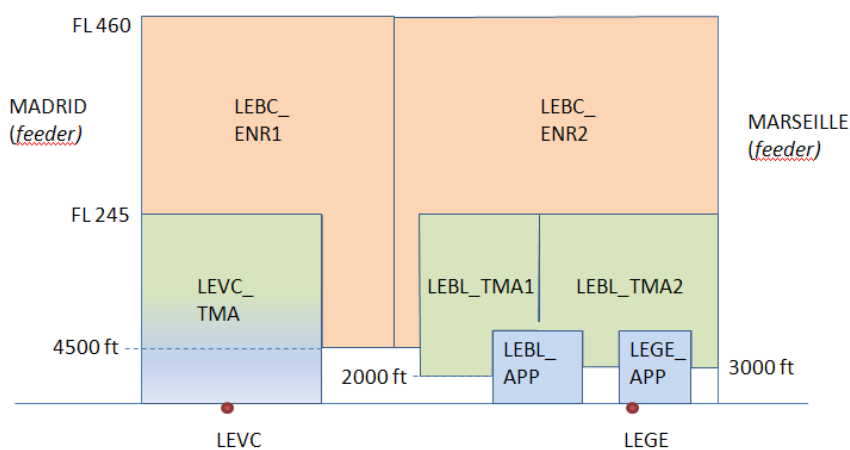


Figura 4.7: Secció C-C'

Amb aquesta sectorització, l'objectiu és tenir controlador tàctic i planificador en els sectors de ruta i en els sectors de TMA, mentre que en els de aproximació només hi ha assignat un controlador tàctic ja que és el sector on el trànsit entra i surt de manera més ordenada i amb menys conflictes, a priori [2].

4.2.1.3.- Feeders

A part dels sectors de control del trànsit aeri, també hem definit els *feeders*, com a sectors del voltant de la FIR/UIR de Barcelona, respectant la seva situació d'aquestes FIRs/UIRs veïnes respecte a la de Barcelona. Els noms dels *feeders* són directament els noms de les FIRs/UIRs: Madrid, Bordeaux, Marseille i Alger.

En la Figura 4.8 hi ha marcats els sectors adjacents a la FIR/UIR de Barcelona, que fan de *feeders* en la simulació. Com hem dit, aquests sectors tenen una forma semblant a les FIRs/UIRs reals que envolten l'espai aeri de Barcelona.

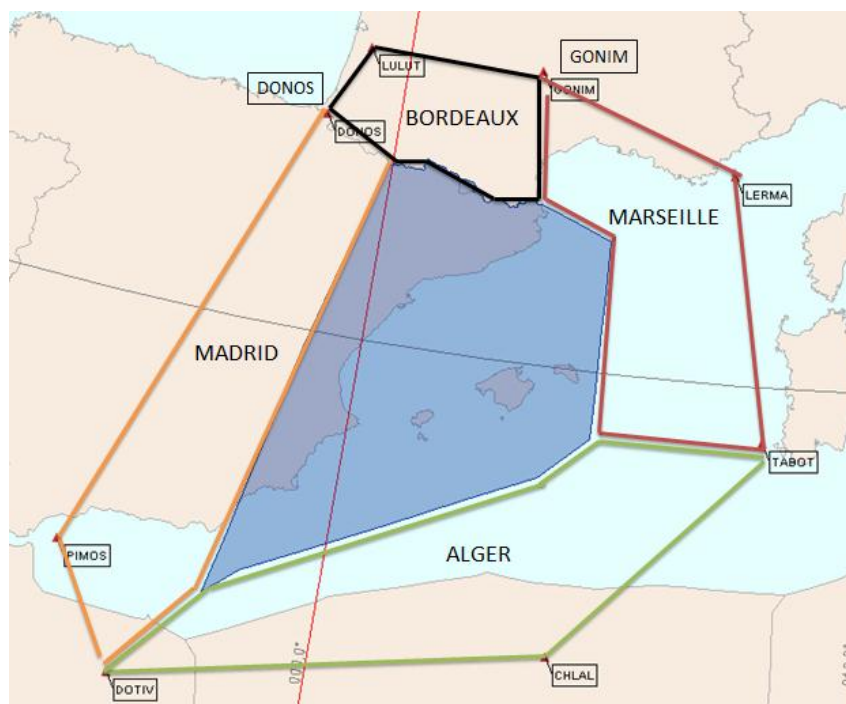


Figura 4.8: Forma i nom dels sectors que envolten l'espai aeri de simulació i juguen un paper de *feeder* en aquesta pràctica.

4.2.1.4.- Unitats

El que realment apareix a cada pantalla de controlador, com hem vist en el Capítol 3, són les unitats (*Units*), que permeten l'agrupació de sectors. En el nostre cas, hem fet el cas més bàsic, ja que hem definit una unitat per sector, així doncs les unitats tenen la mateixa forma que els sectors i es pot dir que hi

ha un sector per unitat, de tal manera que hi ha un controlador (o parella de controladors) per sector.

En el cas de que hi hagi menys alumnes dels que hi hauria d'haver per fer la pràctica, les unitats ens poden servir de gran ajut per agrupar sectors i adaptar la pràctica a la situació del moment, podent reduir el nombre de posicions de controlador amb facilitat.

4.2.1.5.- Elements fixos: radioajudes i punts significatius

Una altra part fonamental de l'escenari és la configuració de la posició dels elements fixos de navegació aèria, com són les radioajudes o els punts d'interès o punts de notificació.

Per posar-los al fitxer de configuració de l'espai aeri d'eDEP hem pres les dades geogràfiques de la base de dades de Skyview 2.

Els fixos que hem declarat per la simulació són els que estan dins dels límits de la FIR/UIR de Barcelona i els del voltants d'aquesta; és a dir, el nostre escenari també inclou els waypoints i radioajudes de l'est de la FIR/UIR de Madrid, els del sud tant de la FIR/UIR de Bordeus com de la de Marsella i els del nord de la FIR/UIR d'Algèria. Aquest plus d'elements és perquè el pla de vol de les aeronaus comenci en els *feeders* i així es faci la transferència de control de l'aeronau a un sector controlat per una parella d'alumnes controladors.

En aquest fitxer de configuració de l'espai aeri no hem definit aerovies, ja que per comoditat en l'adaptació del trànsit, tal com expliquem en el següent apartat, ens és més favorable escriure les rutes dels avions com a un seguit de punts, mètode també vàlid en eDEP.

4.2.1.6.- Procediments SID STAR i circuits d'espera

Per acostar la simulació encara més a la realitat, també hem definit procediments de sortida i d'arribada, ja que tot el trànsit que tindrem a la simulació serà IFR, i per tant hauran de seguir aquests procediments. Així doncs, tenim SIDs, STARs i circuits d'espera definits per cada aeroport, tal i com es pot apreciar en la Taula 4.2.

Per definir les SIDs i STARs, hem pres els punts (*waypoints*) que marquen la trajectòria de cada procediment, però als procediments aeronàutics de l'Estat espanyol s'empra molt un arc DME per definir segments (és a dir una trajectòria corba on es manté una distància constant respecte a un DME). Els arcs DME no estan implementats a eDEP i hem hagut d'aproximar-los per segments rectilinis. Això ha donat peu a definir nous punts en el nostre espai aeri per poder traçar les SIDs i STARs de la manera que s'assemblin el més possible als procediments reals.

Taula 4.2: Enumeració de pistes, SIDs, STARs i circuits d'espera [8] per cada aeroport de dins de la FIR de Barcelona que hem definit.

Aeroport	Pistes	SIDs	STARs	Punts on hi ha Holds o circuits d'espera
Barcelona	07L	AGENA2B DALIN2B GRAUS5B LARPA2B	ALBER1S BISBA1S CASPE1U GRAUS3S	SLL RUBOT VLA VIBIM
	07R	LOBAR1G LOTOS1G MOPAS1G SENIA1G VERSO1G	MARTA1Z NEPAL1U OSTUR1U PUMAL3S	
Palma de Mallorca	06L	BRUNO1B/1G DRAGO2B/2L ESPOR2B/2L	GATOS2M IZA1M LORES2M	MJV ADX
	06R	GALAT2B/2L IZA1B/1L MHN4B/1L TURIA2B/2L	LUNIK2M MORSS2M RIXOT2M TOLSO2M	
Girona	20	BGR2H GEANT1H	BGR2F KANIG1F MAMUK1F	BANOL GRN
Reus	07	ARBK1S CRETA2S	BERGA1P	RES
Menorca	01	CDP1W/2C LUNIK1W/2C MEROS1W/1C	MJV2B SARGO2B TONIS2B	BALIO
Eivissa	06	GATOS1F MJV2R NINOT1F	CORDA1V NINOT4V TOLSO1V POS1V	IBA LARUL
València	30	CENTA3A NARGO2A NINOT3A RIKOS3A SOPET2A	ASTRO1C CLS1A NINOT1C SAURA1C SOPET1C	MULAT
Alacant	10	MITOS2A SOPET1G	BRUNO2L VLC2L	ALT VILNA

Com hem vist en el Capítol 3, en la definició d'una SID o STAR cal marcar unes alçades per les que aniran els avions associades amb els punts de la trajectòria del procediment. Les alçades que es defineixen en cada punt d'una SID, són estrictament les alçades que portaran els avions en aquell punt. Si es dona el cas que s'ha definit una alçada en un punt, a la que un avió no hi pot arribar per les limitacions de les seves *performances*, l'avió puja fins al màxim que pot, tot i no arribar a l'alçada que s'ha programat.

Amb les STARs passa exactament el mateix; si per exemple en un punt de la STAR s'ha definit que cal passar-lo a nivell de vol 50, si l'avió en qüestió arriba

a aquest nivell abans d'arribar al punt, s'estabilitza i es queda a FL50, fins a passar aquest punt de la STAR. En cas de no arribar a aquest nivell de vol 50, passarà al nivell més baix possible. És preferible la primera situació abans que la segona, ja que d'aquesta manera ens assegurem l'aterratge, perquè si l'avió no pot complir amb els gradients de descens, es donaria el cas que no podria aterrar a la pista en condicions.

La nomenclatura que hem fet servir per donar nom a cada SID és el codi ICAO de l'aeroport associat a aquesta SID com a prefix i el nom del punt on acaba la SID (punt que dóna el nom de la SID en l'AIP) com a sufix. Per exemple, la SID LERS_CRETA és la SID que surt de Reus i acaba al punt CRETA.

Per les STARs, hem canviat el format del nom, ja que hem posat primer el nom del punt on comença la STAR seguit de l'aeroport; per tant la RIXOT_LEPA és la STAR que comença a RIXOT i és per aterrar a l'aeroport de Palma de Mallorca. Aquesta nomenclatura permet distingir entre procediments que comparteixen un mateix punt, com per exemple el punt SOPET.

Els circuits d'espera del nostre escenari estan definits en els punts enumerats en la Taula 4.2. Aquests punts són el final de les STARs definides, o el punt d'inici de l'aproximació (IAF), que és el mateix.

Els noms que hem assignat als circuits d'espera estan formats per una "H" inicial (de la paraula *Hold*), el punt que és IAF i el codi ICAO de l'aeroport. D'aquesta manera, el circuit H_VIBIM_LEBL és el circuit d'espera que sobrevola el punt VIBIM per aterrar a l'aeroport de Barcelona.

4.2.1.7.- Zones D/P/R

Per últim, hem configurat diversos blocs d'espai aeri d'ús condicional, agafant les més importants del territori que ocupa la FIR de Barcelona, respectant la forma i les alçades. El nostre escenari de simulació conté les següents àrees [8]:

- Àrees prohibides: LEP136, LEP137 i LEP143.
- Àrees restringides: LER30, LER112, LER115 i LER145.
- Àrees perilloses: LED21A, LED21B, LED26, LED45, LED46, LED67 i LED97B.

Per definir les àrees LEP136 i LEP137, les hem definit com a un triangle en planta, tot i que la seva forma real és un cercle, una forma que no es pot definir a eDEP.

En la Figura 4.9 es veu el resultat de la configuració de l'espai aeri de simulació en eDEP, on es poden distingir els sectors, punts fixos, punts que tenen un circuit d'espera associat i àrees d'ús irregular.

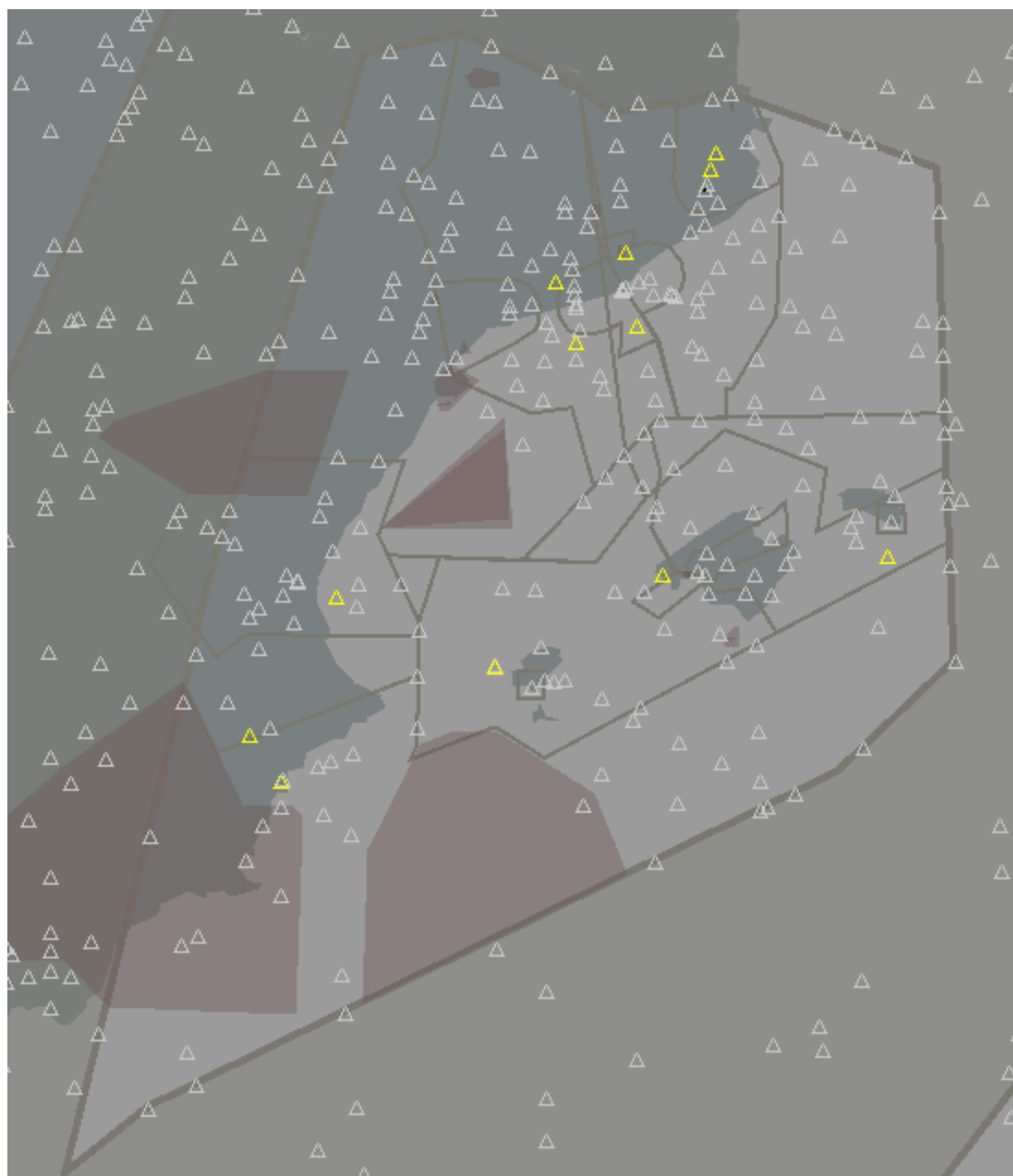


Figura 4.9: Captura de la pantalla radar que es visualitza en un CWP, amb tots els elements d'espai aeri configurats per a la pràctica de control aeri

4.2.2.- Creació del trànsit aeri de l'escenari

L'altra part essencial per poder crear un escenari de simulació ATC és el trànsit aeri. A la nostra simulació hem posat trànsit que creua la FIR/UIR de Barcelona en fase de creuer, trànsit que arriba de fora del nostre espai aeri i té com a destinació un dels aeroports que hem definit i en som controladors, trànsit que surt dels "nostres" aeroports com a origen i va a un altre aeroport de fora de la FIR com a destinació i finalment, trànsit entre aeroports de la FIR.

La base del nostre trànsit prové d'un fitxer STATFOR d'Eurocontrol [6], que conté el trànsit europeu del dia 12 de setembre de 2003, el dia en què es va registrar el rècord de vols a Europa en un sol dia de l'estiu de 2003, amb un total de 28173 vols [21]. El format d'aquest arxiu és un fitxer de text que té el trànsit ordenat per línies, on cada línia indica un punt en la ruta de l'avió en un instant de temps. Per cada línia trobem les següents dades:

- Una marca de temps (hhmmss) de la línia.
- El punt, aeroport o radioajuda en el que es troba l'avió.
- El nivell de vol que porta l'avió en aquell punt.
- El codi ICAO del model d'aeronau que fa el vol.
- L'identificador del vol o de l'aeronau, en format ICAO.
- Un identificador únic del vol dins de l'arxiu
- Un número que fa de comptador que indica la posició que ocupa aquella línia dins d'un mateix vol, començant pel número 1 en la línia que s'indica l'enlairament de l'avió de l'aeroport fins al número de la línia en què hi ha l'aterratge.

```

...
104000 EGCC 0 E145 SWR391 188237 1
104026 MCT.D 8 E145 SWR391 188237 2
104402 LISTO 93 E145 SWR391 188237 3
104827 $ACEY 190 E145 SWR391 188237 4
105303 HON 190 E145 SWR391 188237 5
105821 CLIPY 288 E145 SWR391 188237 6
110436 $ACEZ 370 E145 SWR391 188237 7
110753 BIG 370 E145 SWR391 188237 8
111047 DET 370 E145 SWR391 188237 9
111455 DVR 370 E145 SWR391 188237 10
114637 SORAL 370 E145 SWR391 188237 11
114712 $ACIP 370 E145 SWR391 188237 12
114827 GTQ 330 E145 SWR391 188237 13
115514 T4332 329 E145 SWR391 188237 14
115634 T1CD9 293 E145 SWR391 188237 15
120311 RILAX 129 E145 SWR391 188237 16
121030 LSZH 0 E145 SWR391 188237 17
...

```

Figura 4.10: Exemple de la descripció d'un vol en el fitxer de trànsit original

Per adaptar tot aquest fitxer de trànsit al fitxer necessari per eDEP hem hagut d'aplicar una sèrie de filtres i canvis que expliquem a continuació. Tots ells els hem fet utilitzant programes del Shell de Linux.

El primer pas ha estat fer un filtre de selecció dels vols que en alguna línia de la seva descripció passen per algun dels punts que estan a la FIR/UIR de Barcelona. Per fer aquest filtratge, hem creuat aquest fitxer de trànsit amb un fitxer que conté tots els noms dels fixos del nostre escenari. Com a resultat ens

hem quedat amb els identificadors de vol de dins de l'arxiu, i d'aquí hem tret els vols sencers que en algun moment passen per la FIR/UIR de Barcelona.

Abans d'aquest creuament, però, hem hagut de fer un pas previ de reconeixement dels punts, ja que com hem dit abans, el fitxer original de vols és del 2003, i els noms dels waypoints i radioajudes de l'any 2003 han canviat molt respecte als noms de 2011 (la versió utilitzada de Skyview 2, que és d'on hem tret tots els fixos, és de 2011). Mitjançant un fitxer del que disposàvem de 2003 on hi ha els noms dels punts de 2003 amb les seves coordenades geogràfiques, hem comparat aquestes coordenades amb les dels punts de 2011, per així fer totes les substitucions possibles, i poder fer els plans de vol utilitzant els punts que hem definit en l'espai aeri de la simulació.

Posteriorment, hem separat els vols que només creuen la FIR/UIR de Barcelona dels que entren i aterren en un dels aeroports o surten d'un dels aeroports. Això ho hem fet filtrant pel segon element de la primera i la última línia de la descripció del vol, és a dir, els aeroports d'origen i destinació de cada vol. Per fer-ho també hem creuat dos fitxers; hem creuat el fitxer de trànsit que hem obtingut després del primer filtre amb un fitxer que conté els noms dels aeroports del nostre escenari.

Quan hem obtingut els vols que ens interessin, falta aplicar un últim filtratge temporal, per quedar-nos amb els vols de 8h del matí a 11h del matí. Per aconseguir-ho, hem de mirar que el moment d'entrada al nostre escenari de simulació estigui dins de la franja horària que ens interessa, és a dir, que en la línia que trobem el primer punt de la ruta conegut, la hora sigui entre les 8h i les 11h. Cal veure que quan parlem de punt conegut, no diem punt de dins de la FIR, ja que precisament, ens interessa que el primer punt estigui fora de la FIR però sigui conegut; la qual cosa vol dir que es troba en un dels *feeders*, a on ens interessa que apareguin els vols en les pantalles dels controladors.

Un cop ja tenim els vols que ens interessin amb els noms dels punts actualitzats, només falta posar-ho en format eDEP, definint els atributs que hem explicat en el Capítol 3 per cada vol.

4.2.2.1.- Resultats i estadístiques del trànsit aeri

Com hem dit amb anterioritat, el fitxer de trànsit que ens ha servit de base pel nostre projecte és un fitxer de trànsit a nivell europeu, les dimensions del qual es poden veure a la Figura 4.11, on s'indica el nombre de vols que s'inicien en cada hora del dia.

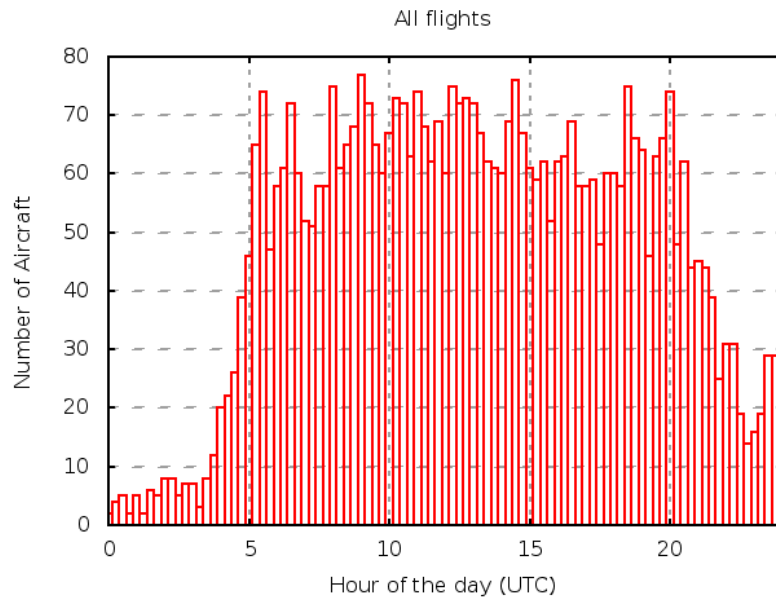


Figura 4.11: Nombre d'aeronaus en funció de l'hora en què les aquestes inicien els seus vols

Després d'aplicar tots els filtres necessaris ja explicats, la Figura 4.12 il·lustra quants vols hi ha que creuen la FIR/UIR de Barcelona durant el període de simulació que ens interessa: de 08:00h a 10:00h. S'hi pot veure un primer pic considerable d'entrada de vols al nostre espai aeri a simular, entre les 08:00h i les 08:15h, però el moment en què tenim una entrada més forta de trànsit és entre les 08:30h i les 08:45h. Aquest gràfic, però, està fet amb el temps d'activació del vol en eDEP, això significa l'instant en que l'avió apareix al mapa, però no té perquè fer-ho a dins de la FIR/UIR, ja que en molts casos el primer punt del pla de vol dels avions es troba en un *feeder*.

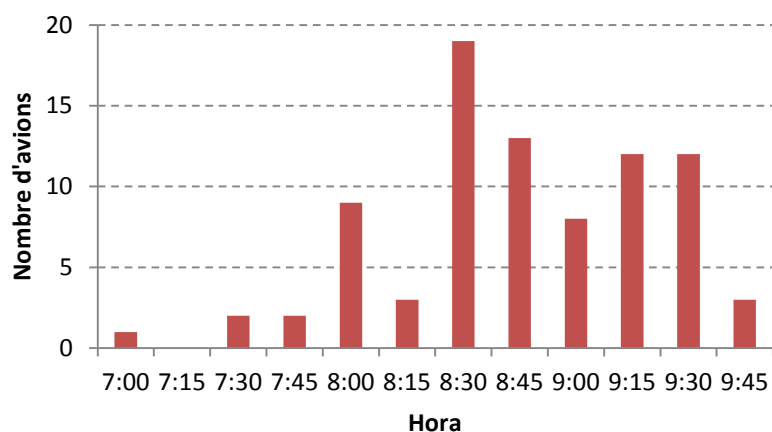


Figura 4.12: Nombre d'avions d'entrada al nostre espai aeri de simulació que creuen en fase de creuer en funció del temps

Respecte als aeroports del nostre espai aeri, hem calculat el nombre d'operacions que fan en funció del temps, distingint entre arribades i sortides. La Figura 4.13, Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16, Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19 i Figura 4.20 mostren les arribades i sortides de cadascun dels aeroports.

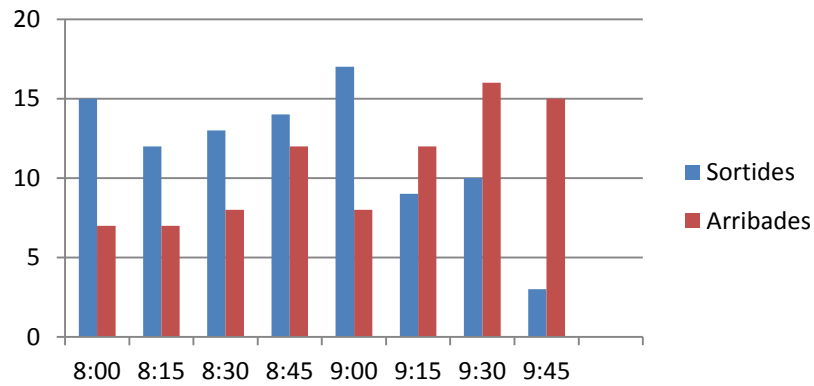


Figura 4.13: Arribades i sortides a l'aeroport de Barcelona en funció del temps

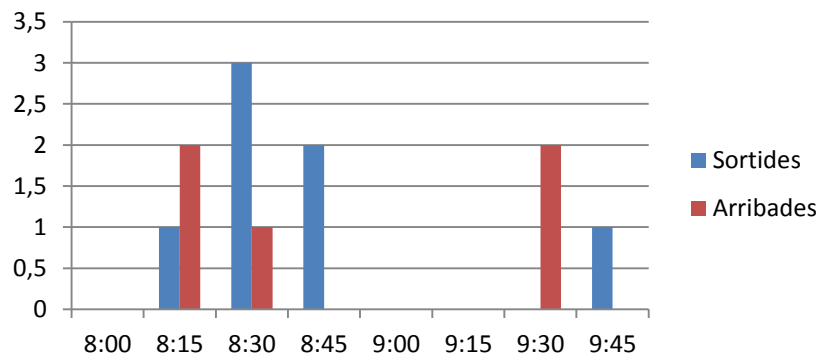


Figura 4.14: Arribades i sortides a l'aeroport de Girona en funció del temps

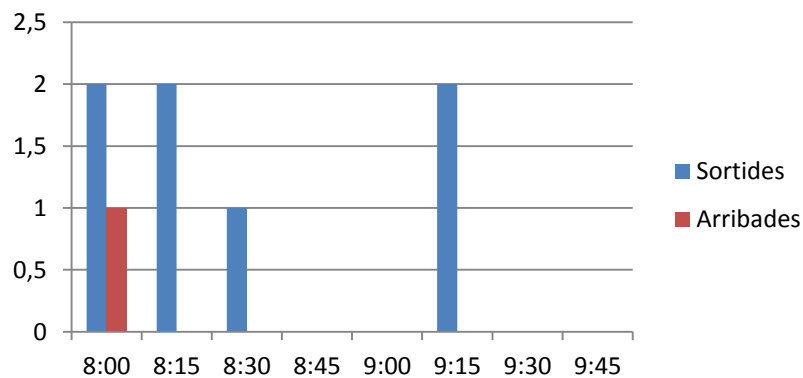


Figura 4.15: Arribades i sortides a l'aeroport de Reus en funció del temps

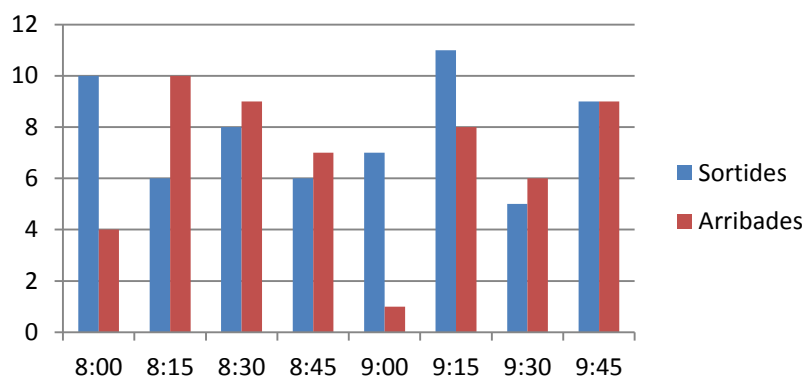


Figura 4.16: Arribades i sortides a l'aeroport de Palma de Mallorca en funció del temps

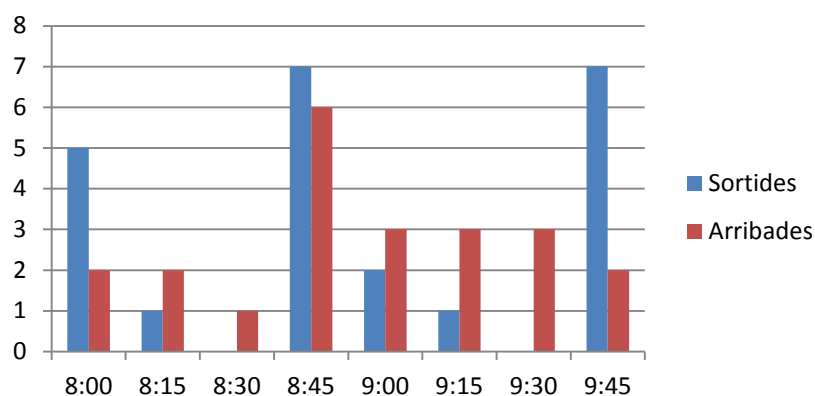


Figura 4.17: Arribades i sortides a l'aeroport de Menorca en funció del temps

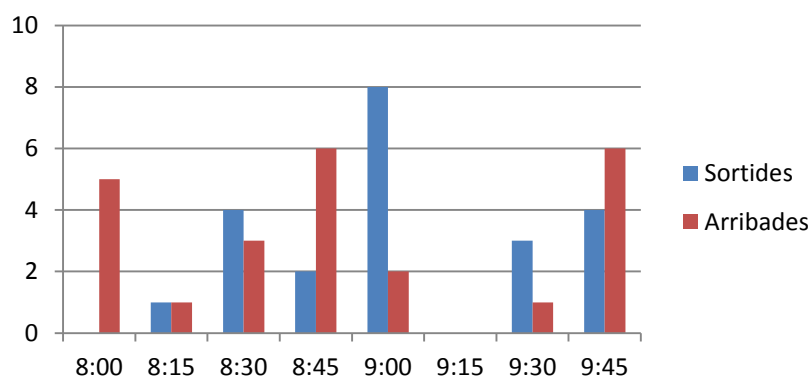


Figura 4.18: Arribades i sortides a l'aeroport d'Eivissa en funció del temps

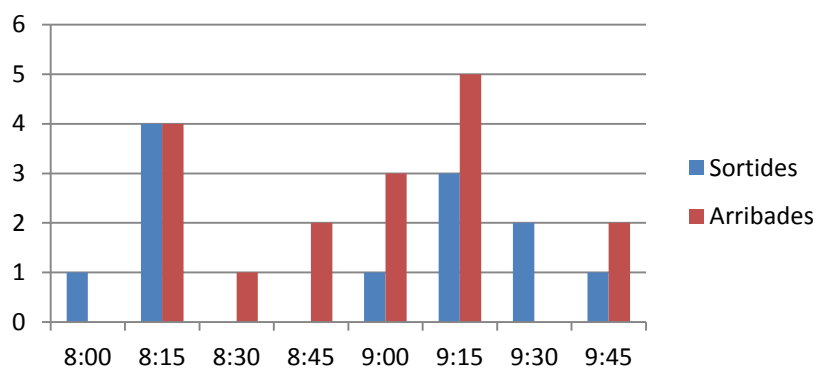


Figura 4.19: Arribades i sortides a l'aeroport de València en funció del temps

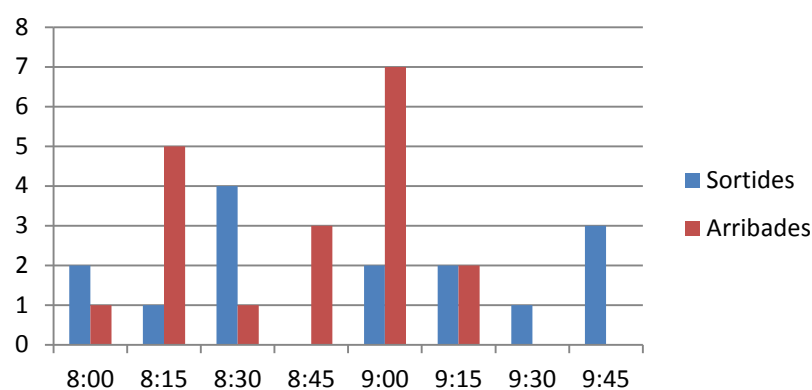


Figura 4.20: Arribades i sortides a l'aeroport d'Alacant en funció del temps

Per finalitzar, a més de l'obtenció de dades estadístiques de la quantitat de trànsit a la nostra simulació, hem fet una classificació de tot el trànsit segons les companyies aèries explotadores dels vols. Aquesta classificació serveix per veure quines són les companyies que tenen més protagonisme en la simulació i quines altres apareixen en comptades ocasions. Això serveix per crear una documentació de cara a l'alumne que fa de controlador o de pseudo pilot amb un llistat de línies aèries amb el seu codi ICAO i el seu *callsign* o indicatiu. Els resultats es poden comprovar en la Figura 4.21.

Dins del grup anomenat "Altres" trobem representació de les següents línies aèries: Aigle Azur, Aero Lloyd Flugreisen, Aero Madrid, Compañía Aérea de Valencia, Airlec Air Espace, British Airways, Flybe, Air Berlin, BMI British Midland, SAS Norge, Condor, BKS Air, Delta Air Lines, Dana Air, Ducair, Aer Lingus, El Al Israel Airlines, Easyjet Switzerland, Finnair, Flash Airlines, Futura, GB Airways, Germanwings, Tuifly, KLM, Lauda Air, Luxair, Air Littoral, LTE International Airways, LTU, Luxor Air, Malev Hungarian Airlines, Myanmar International Airlines, Egyptair, Midwest Airlines, Flynnordic, Netjets Europe, Neos Air, Olympic Air, Royal Air Maroc, Air Mobility Command, Tarom, Ryanair, Scandinavian Airlines, Sobelair, Alitalia Express, Sterling European, Swiss

International Airlines, Swift Air, TAP Air, Tunis Air, Tadair, Turkish Airlines i Volare Airlines.

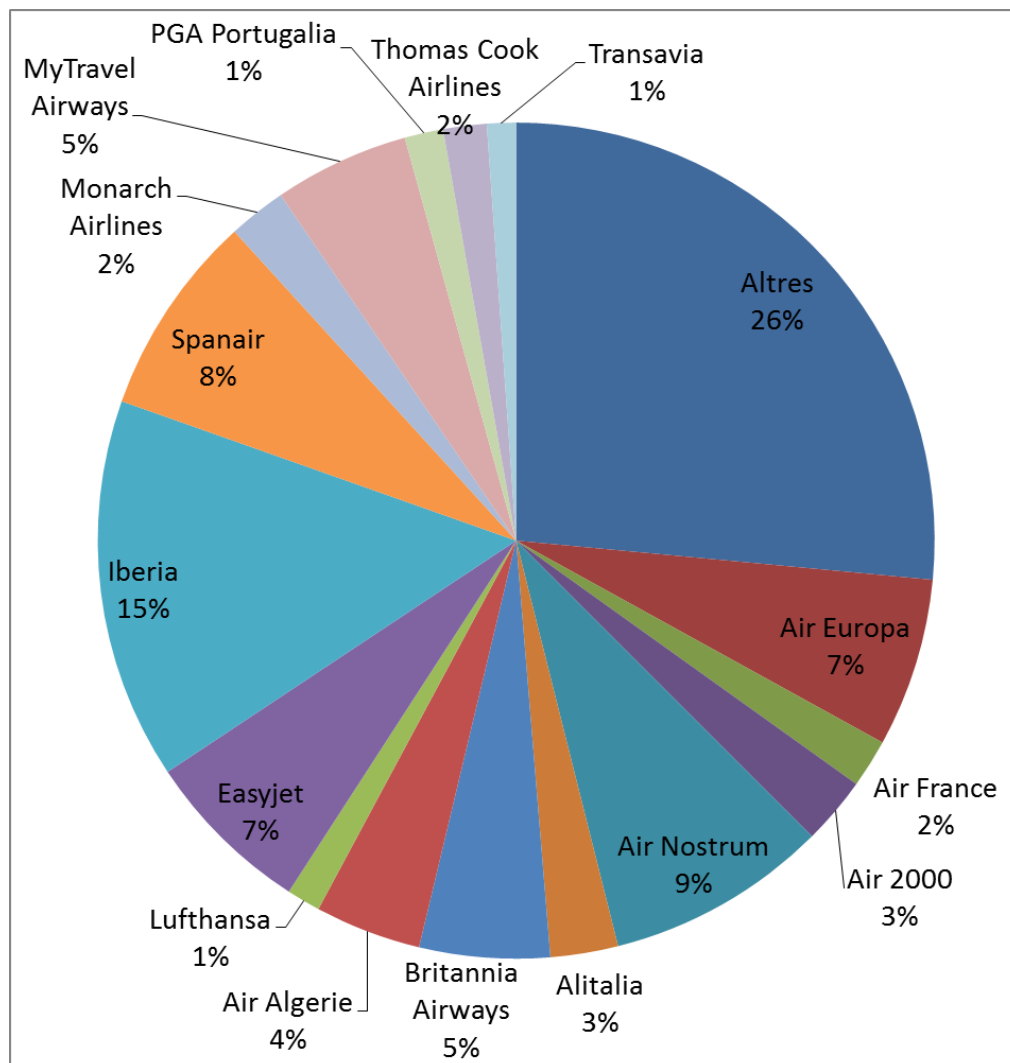


Figura 4.21: Distribució del trànsit en funció de la companyia aèria explotadora del vol

Com que el nombre de companyies que poden aparèixer en la simulació és tan divers, proposem una simplificació amb els següents dos objectius: per comoditat pels propis alumnes a l'hora d'identificar les aeronaus pel seu codi ICAO o *callsign* i substituir aquelles companyies que en el moment de redacció d'aquesta memòria ja no existeixen. A la Taula 4.3 hi ha les agrupacions de companyies aèries proposades; el nombre de línies aèries que queden per la pràctica és d'onze.

Taula 4.3: Unió de companyies aèries per simplificar la simulació.

Companyia present en la simulació	Companyies que s'uneixen (antigues o amb poca presència)
Spanair	Malev Hungarian Airlines, Egyptair, Scandinavian Airlines, Turkish Airlines, Spanair
Iberia	Iberia
Air Nostrum	Air Nostrum, TAP Air, Volare Airlines, PGA Portugalia
Air Europa	Air Europa, Air 2000
Easyjet	Easyjet, Easyjet Switzerland, Tuifly, LTU
Ryanair	Flybe, BMI British Midland, Ducair, Aer Lingus, Flynnordic, Netjets Europe, Neos Air, Air Mobility Command, Sterling European, Britannia Airways, MyTravel Airways, Thomas Cook Airlines, Ryanair
Vueling	Aero Madrid, Compañía Aérea de Valencia, Flash Airlines, Futura, Luxair, , LTE International Airways, Tarom, Sobelair, Tunis Air, Tadair, Transavia
Air France	Aigle Azur, Airlec Air Espace, Delta Air Lines, KLM, Luxor Air, Royal Air Maroc, Air Algerie, Air France
British Airways	Aero Lloyd Flugreisen, GB Airways, Myanmar International Airlines, Midwest Airlines, Monarch Airlines, British Airways
Alitalia	BKS Air, Dana Air, El Al Israel Airlines, Air Littoral, Olympic Air, Alitalia Express, Alitalia
Lufthansa	Air Berlin, SAS Norge, Condor, Finnair, Germanwings, Lauda Air, Swiss International Airlines, Swift Air, Lufthansa

CONCLUSIONS

Com hem descrit amb anterioritat, els objectius del Projecte eren preparar uns exercicis i pràctiques enfocats a l'assignatura d' "Infraestructures del Transport Aeri" que es cursa en les titulacions de Grau en Enginyeria d'Aeronavegació i Grau en Enginyeria d'Aeroports. Els exercicis i pràctiques que hem creat satisfan els objectius del programa de l'assignatura, ja que serveixen per complementar la part més teòrica del temari, i alhora, ofereixen un altre punt de vista en l'aprenentatge de la teoria. Per tant, podem dir que hem complert amb l'objectiu principal del Projecte.

Els exercicis més teòrics, és a dir, el qüestionari introductori, els plans de vol i l'anàlisi de cartes aeronàutiques fan que l'alumne s'hagi de documentar amb informació dels organismes més importants en la navegació aèria, com ICAO, Eurocontrol o l'AIP de diferents Estats.

Pel que fa a la pràctica de control aeri, podem dir que hem creat un escenari de simulació prou fidel a la realitat, amb les simplificacions que ha calgut per adaptar-lo a una pràctica per 22 alumnes, els quals no són controladors professionals.

Durant el procés de creació de l'escenari de simulació ATC, hem anat fent proves amb el programa eDEP, i hem vist que, tal i com descriu Eurocontrol, es tracta d'un programa flexible que permet modificacions ràpides per a fer diferents proves, modificant els fitxers de configuració de la simulació.

Després de tot, podem afirmar que és una practica factible a nivell acadèmic per un grup de una vintena d'estudiants. No obstant, creiem que cal una bona documentació prèvia per part de l'estudiant sobre com funciona la posició de controlador i com funciona la posició de pseudo pilot. A més, és molt recomanable una familiarització amb l'espai aeri abans de fer la pràctica, per saber com està distribuït l'espai aeri (sectorització definida, SIDs, STARs, trànsit aeri, etc). També s'ha d'estudiar quina és la fraseologia emprada pels controladors, ja que utilitzen una sintaxi directa, clara i concisa per donar les diferents instruccions als pilots, o per parlar amb els sectors adjacents.

La principal línia de continuació d'aquest Projecte en un futur és la validació del trànsit del fitxer d'Eurocontrol. D'aquest trànsit de n'hauria d'estudiar amb detall el nombre d'aeronaus per sector en cada instant de temps, el nombre de conflictes que ha de resoldre el controlador, la càrrega de treball de cada posició de controlador o els punts d'entrada més freqüents als sectors, entre d'altres, per veure si cal afegir o treure vols en el fitxer del trànsit original, tot pensant que els controladors són alumnes. En el present Projecte no s'ha fet per falta de temps.

Un altre dels punts a millorar de la pràctica de simulació ATC, és que s'hauria d'implantar un sistema de veu sobre IP en xarxa entre els ordinadors del laboratori de l'Escola, per simular les converses de veu que mantenen els

controladors amb els pilots. No s'ha pogut dur a terme en el present Projecte per falta de temps.

En el desenvolupament del Projecte, hem detectat que una bona línia de millora del nostre escenari seria centrar-se en la definició d'*agreements* i *letters of agreement*. Això pot donar lloc fins i tot a altres Projectes de Final de Carrera, ja que caldria fer un anàlisi exhaustiu del trànsit aeri per veure quines són les rutes que segueixen les aeronaus per detectar els punts d'entrada i sortida dels diferents sectors, i així intentar definir punts i condicions de transferència del control dels avions.

Tanmateix, també es podria treballar en fer més realistes les posicions de controlador mitjançant una ampliació d'eDEP que pugui simular el tractament amb les fitxes de progressió de vols o *strips* dels controladors que fan servir a la realitat, per comunicar les entrades de les diferents aeronaus en els sectors corresponents.

Una altra possible millora per acostar encara més l'escenari de simulació ATC a la realitat és estudiar com implantar un sistema d'assignació de retards a les aeronaus, per causes de falta de capacitat de l'espai aeri. Aquesta proposta seria molt significativa, ja que a la realitat, els serveis de gestió de la capacitat i el flux del trànsit aeri (ATFCM) treballen simultàniament amb els serveis de control del trànsit aeri (ATC).

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] <http://www.eees.es/>, última visita: Juliol de 2011
- [2] **Andrew Cook**, *“European Air Traffic Management. Principles, Practice and Research”* Ashgate, 2007
- [3] **Francisco Javier González Nieto, Luis Pérez Sanz, Victor Fernando Gómez Comendador**, *“La navegación aérea y el aeropuerto”* Fundación Aena, 2002
- [4] **Dagoberto José Salazar Hernández**, *“Navegación Aérea, Cartografía y Cosmografía”*, Apunts de l'assignatura, Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels (EETAC), 2008
- [5] **Lucas García Serrano**, *“Apuntes de Gestión del espacio aéreo”*, Apunts de l'assignatura, Escola d'Enginyeria en Telecomunicacions i Aeronàutica de Castelldefels (EETAC), 2010
- [6] <http://www.eurocontrol.int/>, última visita: Juliol de 2011
- [7] **ICAO**, *“Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Telecommunications”*, ICAO, 10th Edition, 2001
- [8] **Aena**, *“AIP España”*, Aena, 2011
- [9] **Jeppesen Sanderson**, *“Instrument Rating Manual”*, 3rd Edition, Jeppesen Sanderson Inc, 1989
- [10] **ICAO**, *“Annex 4 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Charts”*, ICAO, 10th Edition, 2001
- [11] **ICAO**, *“Procedures for Air Navigation Services: Air Traffic Management, Doc-4444, ATM/501”*, 14th Edition International Civil Aviation Conference, 2001
- [12] <http://eetac.upc.edu>, última visita: Juliol de 2011
- [13] **Martínez, J. y Gómez, F.** (2010) La técnica puzzle de Aronson: descripción y desarrollo. En Arnaiz, P.; Hurtado, M^a.D. y Soto, F.J. (Coords.) *25 Años de Integración Escolar en España: Tecnología e Inclusión en el ámbito educativo, laboral y comunitario*. Murcia: Consejería de Educación, Formación y Empleo
- [14] <https://schubert.upc.es/upc/epsc/ecsq-dpfod.nsf/Tots/E716261DA6DBA02DC125758200382FFD>, última visita: Juny de 2011
- [15] **Eurocontrol**, *“Skyview 2 Readme File”*, Eurocontrol, 2009

- [16] **Eurocontrol**, *"Skyview 2 User Guide V 2.5.0"*, Eurocontrol, 2008
- [17] **Javier Pascual Ramos**, *"Puesta en marcha de un simulador de tráfico aéreo de Eurocontrol para simulaciones ATC"*, Proyecto de Final de Carrera, ESPC, 2010
- [18] **Mike Humphrey**, *"eDEP/AEG presentation"*, 2006
- [19] **Fletcher**, *"eDEP User Guide"*, versió 3.0, Graffica, 2010
- [20] <http://www.aena.es>, última visita: Juliol de 2011
- [21] **Eurocontrol**, *"Summer-quarter sees record-breaking numbers of flights in European Airspace"*, Press Bulletin, Eurocontrol, 2003

ANNEX A. TEMARI D'INFORMÀTICA 2 I D'INFRAESTRUCTURES DEL TRANSPORT AERI

A.1.- Temari de l'assignatura d' "Informàtica 2"

Teoria

- 1.- L'arquitectura dels computadors actuals
 - 1.1.- Els ordinadors portàtils
 - 1.2.- Ordinadors paral·lels
 - 1.3.- Supercomputadors
- 2.- Programació orientada a objectes i programació visual
 - 2.1.- El concepte d'objecte i classe: atributs i mètodes
 - 2.2.- Criteris per a la descomposició en mòduls i objectes
 - 2.3.- Constructors i destructors
 - 2.4.- Pas de paràmetres i objectes
 - 2.5.- Objectes que són membres d'altres objectes
 - 2.6.- Formularis i events
 - 2.7.- Controls i events més habituals
- 3.- Estructures de dades i algorismes avançats
 - 3.1.- Algorismes d'ordenació
 - 3.2.- Algorismes de cerca
 - 3.3.- Cues circulars
 - 3.4.- Piles
- 4.- Bases de dades
 - 4.1.- Introducció als sistemes gestors de bases de dades
 - 4.2.- Modelatge de dades
 - 4.3.- Disseny de l'estructura d'una base de dades
 - 4.4.- Consultes i manipulació de dades
- 5.- L'entorn de programació
 - 5.1.- L'entorn de programació en Java
 - 5.2.- Creació de projectes, classes, llibreries de classes
 - 5.3.- Creació de formularis
 - 5.4.- Depuració d'aplicacions

Activitats

- 1.- Com són els computadors actuals?

Descripció:

Activitat introductòria d'autoaprenentatge sobre l'estructura i el funcionament dels ordinadors. Realització d'exercicis en grups i individuals.

Objectius:

Descriure els elements i blocs que apareixen habitualment en els ordinadors portàtils actuals.
Descriure les característiques principals dels computadors paral·lels.
Descriure les característiques principals dels supercomputadors actuals i algunes de les seves aplicacions.

2.- Projecte de programació avançat

Descripció:

Elaboració d'un projecte en grups de treball, utilitzant els mètodes d'autoaprenentatge i de puzzle d'Aronson. L'entorn de programació que es farà servir és el Microsoft Visual Studio.

El projecte és el gruix de les activitats de l'assignatura, ja que val un 40% de la nota final de l'assignatura.

Aquest projecte té forma d'aplicació visual per treballar el tema de la gestió de l'espai aeri. La referència és un programa d'Eurocontrol que es diu RAMS (Re-organized ATC Mathematical Simulator) i s'utilitza per calcular capacitats de sectors aeris, capacitats en aeroports, simulacions de casos concrets, simulacions de casos més generals (mètode gate-to-gate), etc.

Objectius:

Treballar i desenvolupar el projecte mitjançant la programació orientada a objectes.

Saber manipular correctament algorismes d'ordenació i cerca.

Implementar piles i cues circulars.

Construir interfícies visuals atractives i funcionals.

A.2.- Temari de l'assignatura d' "Infraestructures del Transport Aeri"

1.- CNS/ATM (Communications Navigation Surveillance for ATM)

1.1.- Comunicacions: VHF, HF, 8,33 khz, CPDLC. SITA/ARINC

1.2.- Navigation: Radioajudes i GNSS. RNAV.

1.3.- Surveillance: PSR, SSR, ADS.

1.4.- Criteris econòmics i operatius de l'emplaçament de sistemes CNS

1.5.- Manteniment i inspecció (a terra i en vol) de sistemes CNS.

1.6.- Separation and collision avoidance (ACAS/ASAS)

2.- Espai aeri i procediments de vol

2.1.- Estructuració i configuració de l'espai aeri: Regles de vol. Classes d'espai aeri. Zones de control. Zones R/D/P. FIR/UIR. Sectors.

2.2.- Indicadors de capacitat, seguretat i eficiència.

2.3.- Procediments de vol: Aerovies. SIDs, STARs i aproximacions (precisió, no precisió, APV). Cartes aeronàutiques.

2.4.- Pla de vol ATC (aïllat i repetitiu)

2.5.- RVSM i FUA

2.6.- Disseny de procediments

Criteris generals pel disseny de procediments instrumentals. Marge de franquejament d'obstacles. Superfícies limitadores.

Disseny de procediments de sortida i arribada

Disseny de procediments d'aproximació instrumentals

Disseny de procediments RNAV

Estudi d'obstacles en entorn aeroportuari (antenes)

3.- Els serveis de la circulació aèria

3.1.- Serveis d'informació aeronàutica: AIP, NOTAM, Circulars...

3.2.- Serveis de Gestió del Trànsit Aeri (Air Traffic Management)

Airspace Management. Sectorització, creació de rutes i procediments.

Air Traffic Flow and Capacity Management: CFMU. Balanç capacitat/demanda.

Tècniques i algorismes d'assignació de fluxes. Assignació, revisió i cancel·lació de Slots.

Air Traffic Services: Servei d'alerta, servei d'informació de vol, servei de control.

Control de torre i d'aeròdrom. Control d'àrea terminal. Control de ruta. Control oceànic. AFIS

Separació d'aeronaus (aeròdrom i ruta), mètodes, mínims, anàlisis i simulacions.

Dependències, estructura i coordinació dels serveis ATC. Coordinació civil/militar.

3.3.- Collaborative Decision Making (CDM)

ANNEX B. ARQUITECTURES DE SKYVIEW 2 I eDEP

Aquest Annex inclou un anàlisi superficial de les arquitectures dels programes utilitzats per al desenvolupament d'aquest Projecte.

B.1.- Arquitectura de Skyview 2

Els components de Skyview 2 són els següents [15]:

- Software de Skyview 2
- Dades de Skyview 2
- *Java Runtime Environment* (JRE) 6
- Programes d'instal·lació de Skyview 2
- ODBC (*Open Database Connectivity*) de Microsoft

El *software* del programa (codi font) és inaccessible a nivell d'usuari. Utilitza una plataforma Java per executar la aplicació visual que interactua amb l'usuari.

Les dades del programa, estan separades en el que són dades geogràfiques i arxius d'atributs. Les primeres estan guardades en arxius .dgn, els quals es poden obrir i visualitzar utilitzant el programa AutoCad Map 3D. El que es veu són les dades geogràfiques repartides per un pla o en l'espai essent fidels a la seva distribució real en l'espai ECAC (latitud i longitud basades en el WGS84). Només contenen la informació de situació en el mapa.

Els arxius d'atributs contenen les dades referents a les propietats de cada element del programa. Aquestes dades són en forma de text, xifra o coordenades (latitud i longitud) i estan guardades en un arxiu .mdb que es pot obrir amb el programa Microsoft Access. Aquestes dades es van renovant periòdicament en forma de publicacions a la pàgina web d'Eurocontrol, i a partir d'aquí es van renovant les versions del programa.

El *Java Runtime Environment* inclou els programes i biblioteques necessàries per poder executar la aplicació que està programada en el llenguatge de programació ja esmentat: Java. És un component essencial per qualsevol programa o aplicació fet en llenguatge Java; és indispensable. La seva funció també es pot entendre com que actua d'intermediari entre el sistema operatiu i Java.

El Microsoft ODBC és un software estàndard desenvolupat per Microsoft amb l'objectiu de poder accedir a qualsevol base de dades sense importar quin és el llenguatge de programació de la base de dades, el sistema de base de dades o el sistema operatiu. Skyview 2 necessita aquest component ja que ha de relacionar les dades que hem comentat abans; cal establir una relació entre les dades geogràfiques que estan compreses en els arxius .dgn i els seus atributs o propietats que estan en forma de taules de text en la base de dades .mdb [15].

Skyview 2 utilitza la tecnologia estandarditzada GIS (*Geographic Information System*), W3C (*World Wide Web Consortium*), Open GIS i la ISO TC211-ISO190100 [16].

B.2.- eDEP

B.2.1.- Arquitectura eDEP i orientació a esdeveniments. Patró observador

L'arquitectura d'eDEP està formada per dues parts ben diferenciades, com són el *middleware* en anglès o programari intermediari i les llibreries addicionals. Ambdós estan escrits en llenguatge Java, cosa que facilita execució ja que només cal la màquina virtual Java.

El programari intermediari s'anomena GSDK (de l'anglès *Graffica Software Development Kit*), i consta d'un conjunt de classes que fan de model abstracte de simulació. Estan dissenyades per ser una base de la simulació, independent de la pròpia simulació.

L'ús del GSDK en una aplicació aporta una sèrie d'avantatges a aquesta aplicació, ja que, entre d'altres, fa la aplicació compatible amb mapes GIS, permet interactuar amb dades en temps real (com ara les posicions dels avions en cada moment), processat distribuït i model client – servidor, i aporta flexibilitat en la plataforma hardware.

El GSDK, així com també el propi eDEP, utilitzen el mètode de la simulació orientada a esdeveniment. Aquest és un mètode que destaca perquè l'evolució de la simulació es produeix en funció dels esdeveniments que es van produint al llarg del temps.

eDEP fa servir el patró observador, en el que un canvi en un dels objectes fa que els seus observadors el notifiquin a la resta d'objectes interessats.

En eDEP, el generador bàsic d'esdeveniments és el temps. Els seus esdeveniments provoquen canvis en els observadors subscrits al temps, cosa que fa que aquest observadors generin els seus propis esdeveniments i així s'obté la simulació.

B.2.2.- Mòduls d'eDEP

eDEP conté dos mòduls, el mòdul ATC i el mòdul TWR, entre d'altres. En el nostre projecte només hem treballat amb el mòdul ATC, ja que el mòdul TWR no ha estat subministrat des d'Eurocontrol a l'Escola.

El mòdul ATC conté 4 capes fonamentals que són: la capa aire (simula el pilotatge dels avions i les posicions de controlador), la capa terra (coordinació entre sectors, detecció de col·lisions i càlcul de la posició dels avions en funció del temps), la capa controlador (implementa les posicions de controlador) i la capa entorn (implementa els fitxers de configuració tant d'espai aeri com dels plans de vol).

Dins de cadascuna d'aquestes capes hi ha un conjunt de serveis eDEP. Els més importants són: el servei de temps, el servei de consola, el servei d'espai aeri, el servei de plans de vol, el servei de gestió de vol, el servei de coordinació, el servei de predicció de trajectòria i el servei de posició de controlador.

ANNEX C. ENUNCIATS I RESOLUCIÓ DELS EXERCICIS TEÒRICS

Els enunciats i resolucions dels exercicis proposats es poden demanar directament a Xavier Prats i Menéndez. Enviar un correu electrònic a: xavier.prats@upc.edu

ANNEX D. IL·LUSTRACIÓ DE LA SECTORITZACIÓ DEL NOSTRE ESCENARI

Aquest Annex conté un conjunt de figures que il·lustren la sectorització que explica el Capítol 4. Totes aquestes figures són captures de pantalla de Skyview 2, on segons el seu codi de colors, el rosa és el color que mostra els elements seleccionats, que són els d'interès en aquest Annex.

En les figures que mostren sectors de ruta, les estrelletes grogues són els punts que hem pres per delimitar la forma dels sectors.

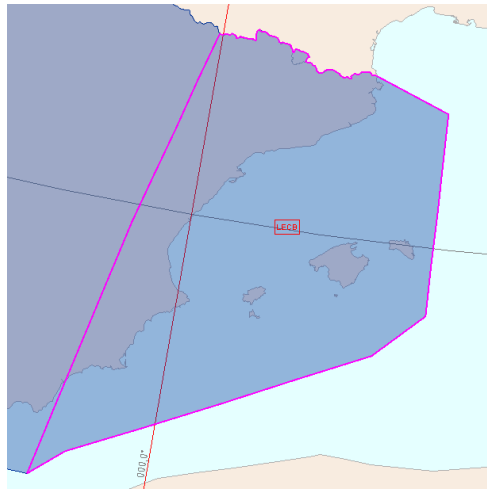


Figura D.1: FIR de Barcelona

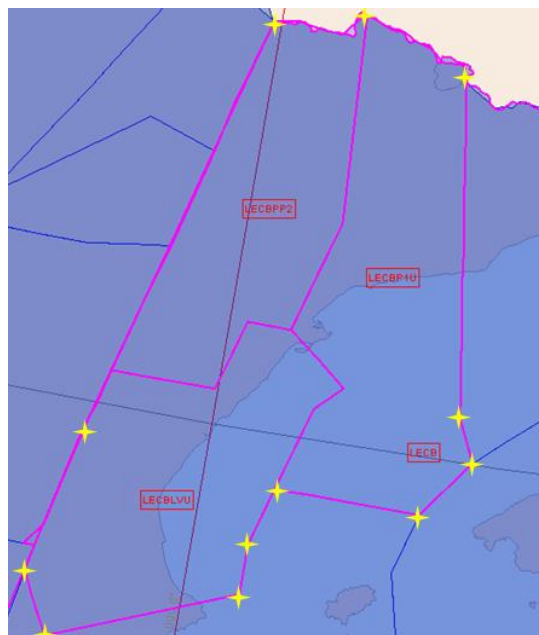


Figura D.2: Sectors de Skyview 2 que formen el sector LECB_ENR1

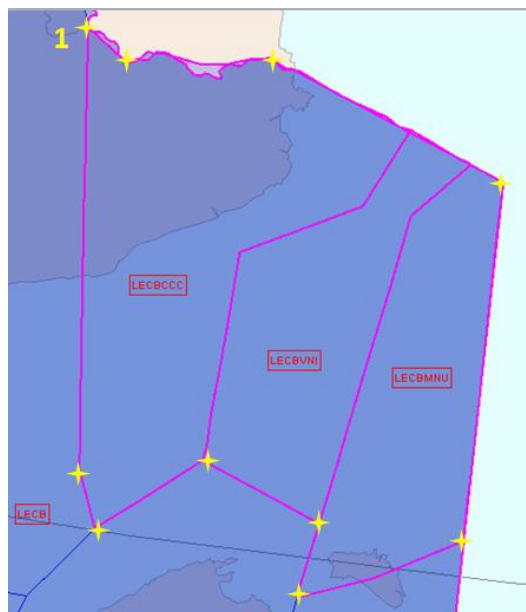


Figura D.3: Sectors de Skyview 2 que formen el sector LECB_ENR2

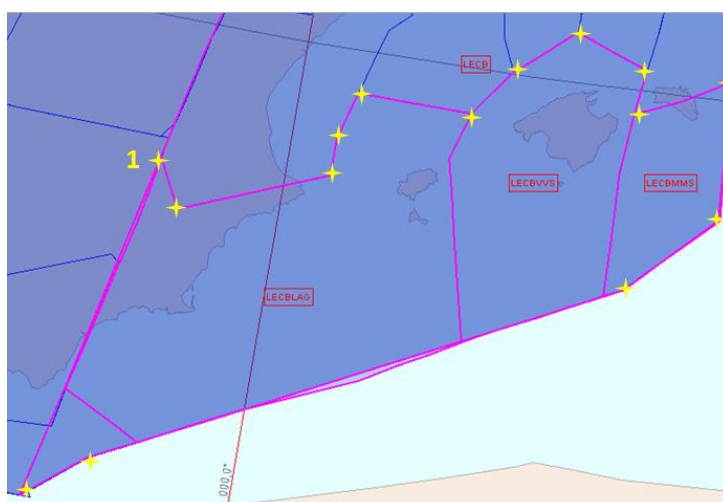


Figura D.4: Sectors de Skyview que formen el sector LECB_ENR3

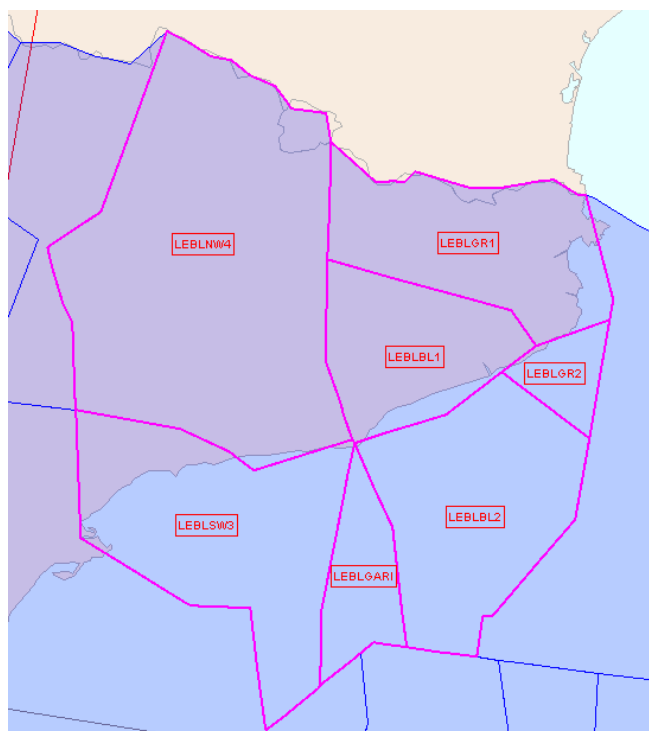


Figura D.5: Sectors de Skyview 2 que formen el TMA de Barcelona

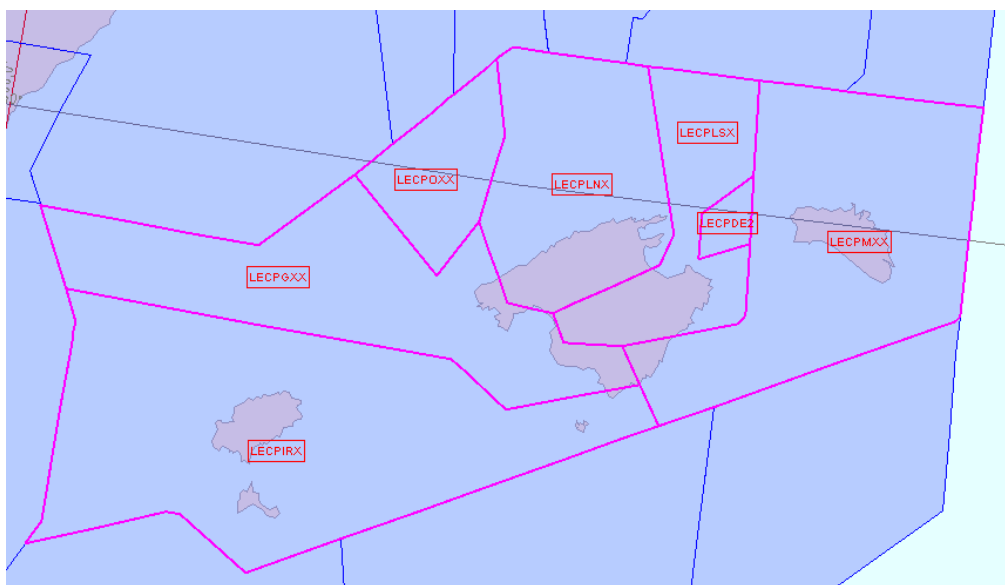


Figura D.6: Sectors de Skyview 2 que formen el TMA de Palma de Mallorca

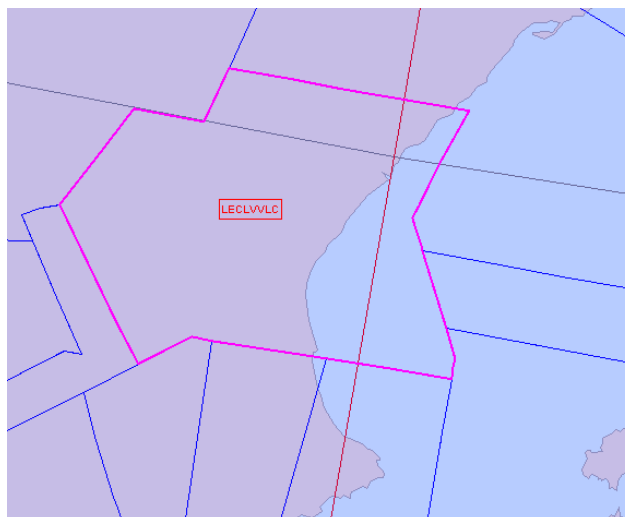


Figura D.7: Sector de Skyview 2 que forma el TMA de València

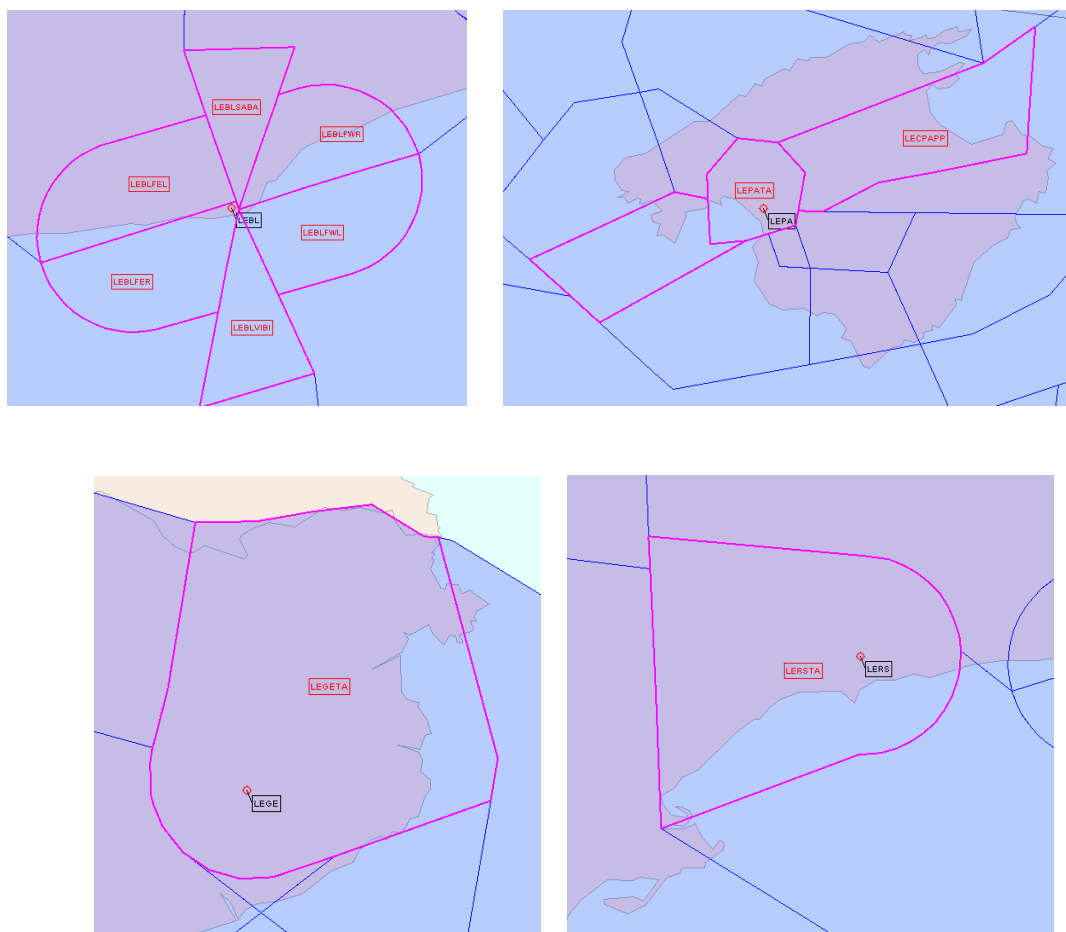


Figura D.8: Sectors de Skyview 2 que formen els sectors d'aproximació de Barcelona, Palma de Mallorca, Girona i Reus, respectivament.

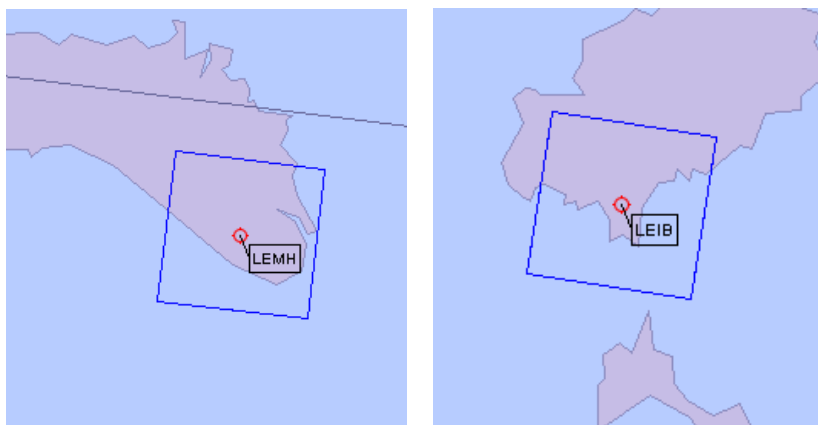


Figura D.9: Sectors de Skyview 2 que formen els sectors d'aproximació de Menorca i Eivissa, respectivament.

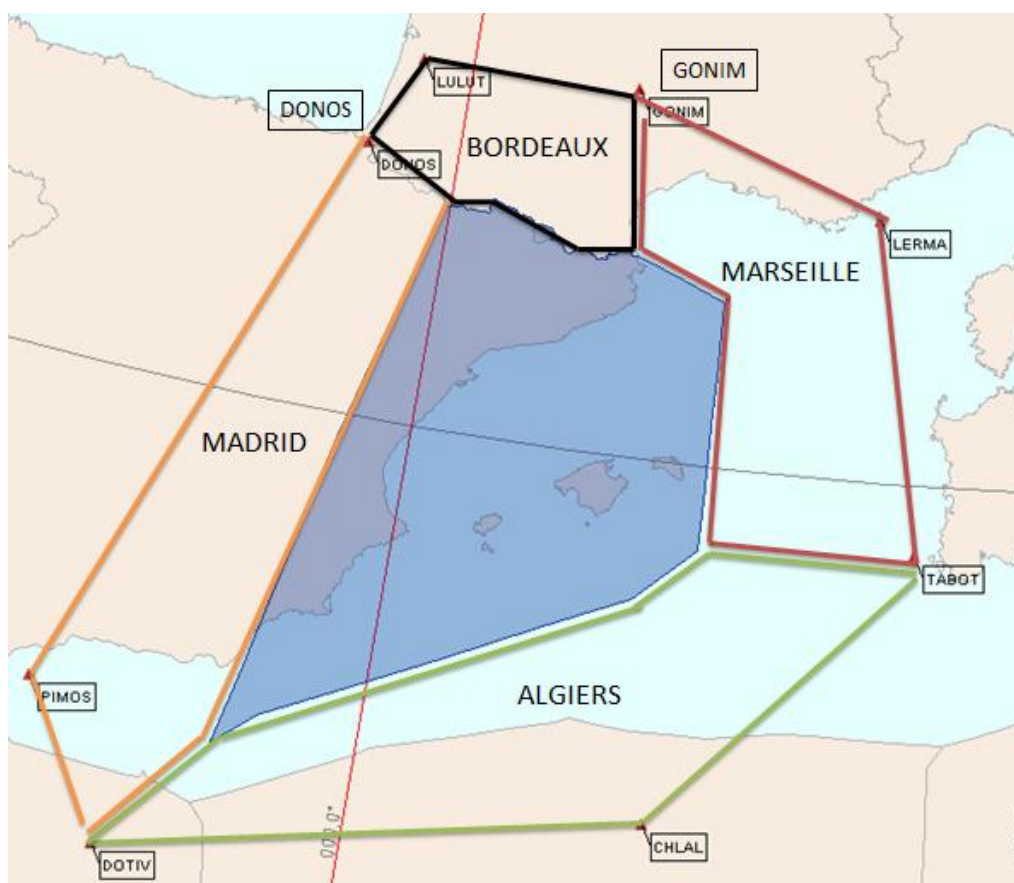


Figura D.9: Zones definides com a *feeders* per l'escenari d'eDEP